ISSN 1992-5980



ВЕСТНИК

ДОНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА



№2 (63)
выпуск 2
2012

ВЕСТНИК
ДОНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
2012
№ 2 (63), вып. 2

Теоретический и научно-практический журнал

Рекомендован ВАК для публикаций основных научных результатов диссертаций на соискание учёных степеней доктора и кандидата наук (решение Президиума ВАК Минобрнауки России от 19 февраля 2010 года № 6/6)

Издаётся с 1999 г.

Выходит 8 раз в год
Январь — март 2012 г.

***Учредитель* — Донской государственный технический университет**

Подписано в печать 27.03.2012.
Формат 60×84/8. Гарнитура Tahoma. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 21,0. Тираж 1000 экз. Заказ № 618. Цена свободная.
Адрес редакции:
344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, тел. (863) 2-738-565.
Адрес полиграфического предприятия:
344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, тел. (863) 2-738-741, 2-738-322.
http://vestnik.donstu.ru
Регистрационное свидетельство ПИ № ФС 77-35012 от 16.01.09.

СОДЕРЖАНИЕ

VESTNIK of DON STATE TECHNICAL UNIVERSITY 2012

№ 2 (63), issue 2

Theoretical and scientific-practical journal

Recommended by the State Commission for Academic Degrees and Titles for publications of the thesis research results for Doctor's and Candidate Degree (the solution of the Presidium of the State Commission for Academic Degrees and Titles of the Russian Education and Science Ministry, February 19, 2010, № 6/6)

Founded in 1999

8 issues a year

January — March 2012

***Founder* — Don State Technical University**

Passed for printing 27.03.2012.
Format 60×84/8. Font «Tahoma». Offset printing.
C.p.sh. 21.0. Circulation 1000 cop. Order 618. Free price.

Editorial Board's address:
Gagarin Sq. 1, Rostov-on-Don, 344000, Russia. Phone: +7 (863) 273-85-65

Printery address:
Gagarin Sq. 1, Rostov-on-Don, 344000, Russia. Phone: +7 (863) 273-87-41, 273-83-22
http://vestnik.donstu.ru

Registration certificate ПИ № ФС 77-35012 от 16.01.09.

CONTENT

TECHNICAL SCIENCES

HUMANITIES

SOCIOECONOMIC AND SOCIAL SCIENCES

CONCISE INFORMATION

УДК 62.932

Исследование свободных движений пилы

А. А. Авакян
(филиал Московского государственного университета технологий и управления им.
К. Г. Разумовского в г. Ростове-на-Дону),
В. А. Финоченко
(Ростовский государственный университет путей сообщения),
А. Н. Чукарин
(Донской государственный технический университет)

Исследованы собственные движения пилы путём построения и анализа математической модели инструмента на основе уравнений теории упругости. Предложенная авторами математическая модель может быть использована при построении систем диагностики протекания технологического процесса.
Ключевые слова: *пила, математическая модель, собственные частоты.*

Введение. Повышенная вибрация и шумоактивность при работе пилорамы вызывает необходимость в особых условиях закрепления полотна, что позволило бы изменить амплитудно-частотные характеристики пилы с целью отстройки собственных частот от частот возбуждений, определяемых рабочим процессом. С этой целью проведём исследование собственных движений пилы при следующих условиях.

Результаты исследований. Считаем, что две боковые стороны пластины упруго защемлены, а две другие свободны, уравнение колебаний запишем в виде:

$$D\cdot\left(\frac{\partial^4 w}{\partial\eta^4}+2\frac{\partial^4 w}{\partial\eta^2\partial\xi^2}+\frac{\partial^4 w}{\partial\xi^4}\right)-N_\eta\frac{\partial^2 w}{\partial\eta^2}+\rho\cdot h\cdot\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}=F(\eta,t), \qquad (1)$$

где h — толщина пластины; ρ — плотность стали; $D=\dfrac{E\cdot h^3}{12\left(1-\nu^2\right)}$ — цилиндрическая жёсткость

пластины; N_η — сила предварительного натяжения пилы [1].

Продольные силы предварительного натяжения изменяют частоты её собственных колебаний. Кроме того особенности граничных условий определяются также наличием «упругого защемления».

Граничные условия:

$$w=0 \qquad \frac{\partial^2 w}{\partial\eta^2}+\nu\frac{\partial^2 w}{\partial\xi^2}=c\cdot\frac{\partial w}{\partial\eta} \qquad \eta=\pm\frac{b}{2} \qquad (2)$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial\xi^2}+\nu\frac{\partial^2 w}{\partial\eta^2}=0 \quad \frac{\partial^3 w}{\partial\xi^3}+(2-\nu)\frac{\partial^3 w}{\partial\xi\partial\eta^2} \text{ при } \xi=\pm\frac{a}{2}.$$

Таблица 1

Характеристики пилы как объекта исследования

Параметры рамной пилы	Характеристики
B — ширина пилы	160÷180
h — толщина пилы	1.6; 1.8; 2.0; 2.2; 2.5
L — длина пилы	1100; 125; 1600; 1750; 1950
D — цилиндрическая жёсткость	75÷275
σ — напряжение в серединной плоскости пилы	80÷120 МПа
N_η — сила натяжения пилы	20.5÷450 кН

Эти данные будут использованы при формулировании необходимых допущений.

В первом приближении, с учётом того, что соотношение ширины и длины пластины примерно $1/10$, воспользуемся соотношением изменённой вследствие натяжения собственной частоты, приведённым для балки:

$$\Omega_k = \omega_k \cdot \sqrt{1 + \frac{N}{N_{kr}}},$$

где ω_k — собственная частота для пластины при $N = 0$; N — усилие предварительного натяжения; N_{kr} — критическая сжимающая сила для балки, соответствующая продольному изгибу в плоскости колебания $N_{kr} = \frac{\pi^2 EJ}{L^2}$ [2].

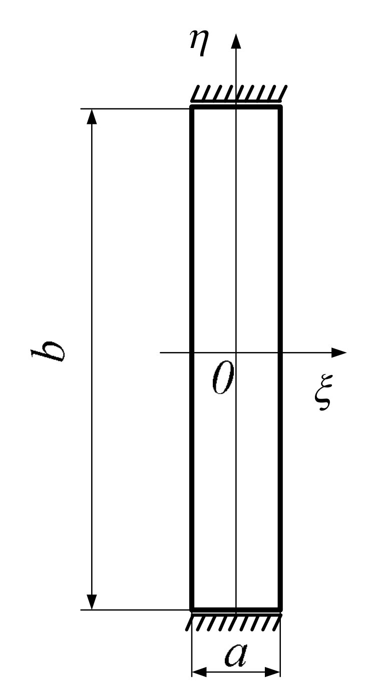


Рис. 1. Расчётная схема пилы

Для указанных граничных условий можно принять решение уравнения в виде (2):

$$w(\xi,\eta,t) = C_0 \cos k_1\xi \cdot \cos k_2\eta \cdot \exp(j\omega t) = Am(\xi,\eta) \cdot \exp(j\omega t),$$

где j — мнимая единица; k_1, k_2 — волновые числа.

Вблизи границ $\xi = \pm\frac{a}{2}$ решение представляется в виде (3):

$$w(\xi,\eta,t) = \cos k_2\eta \cdot \left[C_0 \cdot \cos k_1\xi + f(\xi)\right] \cdot \exp(j\omega t), \quad (3)$$

где $f(\xi)$ — функция, позволяющая выполнить условия закрепления.

Вблизи границ $\eta = \pm\frac{b}{2}$ решение представляется в виде:

$$w(\xi,\eta,t) = \cos k_1\xi \cdot \left[C_0 \cdot \cos k_2\eta + \psi(\eta)\right] \cdot \exp(j\omega t), \quad (4)$$

где $\psi(\eta)$ — функция, позволяющая выполнить условия закрепления.

Следовательно, общее выражение $Am(\xi,\eta)$ имеет вид:

$$Am(\xi,\eta) = C_0 \cos k_1\xi \cdot \cos k_2\eta + f(\xi) \cdot \cos k_2\eta + \psi(\eta) \cdot \cos k_1\xi. \quad (5)$$

В средней части пластины $f(\xi)$ и $\psi(\eta)$ пренебрежимо малы, поэтому выражение $Am(\xi,\eta) = C_0 \cos k_1\xi \cdot \cos k_2\eta$ должно удовлетворять уравнению:

$$\nabla^2\nabla^2 Am(\xi,\eta) - \alpha^4 Am(\xi,\eta) = 0, \quad (6)$$

где ∇^2 — оператор Лапласа; $\alpha^4 = \frac{\rho \cdot h}{D}$.

Подставляя выражение $Am(\xi,\eta)$ в уравнение (1) получим:

$$k_1^4 \cos k_1\xi \cdot C_0 \cos k_2\eta + 2C_0\left(-k_1^2 \cos k_1\xi\right) \cdot \left(-k_2^2 \cos k_2\eta\right) + k_2^4 \cos k_2\eta \cdot C_0 \cos k_1\xi -$$
$$-\alpha^4 \cos k_1\xi \cdot \cos k_2\eta \cdot C_0 = 0$$

$$k_1^4 + 2k_1^2k_2^2 + k_2^4 - \alpha^4 = 0, \text{ то есть } \alpha^2 = k_1^2 + k_2^2. \quad (7)$$

Вблизи границ $\xi = \pm\frac{a}{2}$ несущественно влияние функции $\psi(\eta)$, поэтому уравнение (6) можно записать в виде:

$$\nabla^2\nabla^2\left[f(\xi) \cdot \cos k_2\eta\right] - \alpha^4 \cdot f(\xi) \cdot \cos k_2\eta = 0. \quad (8)$$

После дифференцирования имеем:

$$\frac{d^4 f(\xi)}{d\xi^4}\cos k_2\eta + 2\frac{d^2 f(\xi)}{d\xi^2}\cdot\left(-k_2^2\cos k_2\eta\right) + f(\xi)\cdot k_2^4\cos k_2\eta - \alpha^4\cos k_2\eta = 0 \qquad (9)$$

$$\frac{d^4 f(\xi)}{d\xi^4} - 2\frac{d^2 f(\xi)}{d\xi^2}\cdot k_2^2 + f(\xi)\cdot\left(k_2^4 - \alpha^4\right) = 0\,.$$

Корни соответствующего характеристического уравнения получаем в виде: $\alpha_1^2 = k_1^2 + 2k_2^2$. Выражение для функций $f(\xi)$ получим в виде:

$$f(\xi) = C_1\exp\left(-\alpha_1\left(\xi + \frac{a}{2}\right)\right) \text{ — вблизи границы } \xi = -\frac{a}{2}\text{, где } \alpha_1 = \left|\sqrt{k_1^2 + 2k_2^2}\right|;$$

$$f(\xi) = C_1\exp\left(-\alpha_1\left(\frac{a}{2} - \xi\right)\right) \text{ — вблизи границы } \xi = \frac{a}{2}\text{, где } \alpha_1 = \left|\sqrt{k_1^2 + 2k_2^2}\right|.$$

Аналогично рассуждая, можно определить функцию $\psi(\eta)$.

Вблизи границ $\eta = \pm\frac{b}{2}$ несущественно влияние функции $f(\xi)$, поэтому уравнение (9) можно записать в виде:

$$\nabla^2\nabla^2\left[\psi(\eta)\cdot\cos k_1\xi\right] - \alpha^4\cdot\psi(\eta)\cdot\cos k_1\xi = 0\,. \qquad (10)$$

После дифференцирования имеем:

$$\frac{d^4\psi(\eta)}{d\eta^4}\cos k_1\xi + 2\frac{d^2\psi(\eta)}{d\eta^2}\cdot\left(-k_1^2\cos k_1\xi\right) + \psi(\eta)\cdot k_1^4\cos k_1\xi - \alpha^4\cos k_1\xi = 0$$

$$\frac{d^4\psi(\eta)}{d\eta^4} - 2\frac{d^2\psi(\eta)}{d\eta^2}\cdot k_1^2 + \psi(\eta)\cdot\left(k_1^4 - \alpha^4\right) = 0\,.$$

Корни соответствующего характеристического уравнения получаем в виде: $\alpha_2^2 = 2k_1^2 + k_2^2$. Выражение для функций $\psi(\eta)$ получим в виде:

$$\psi(\eta) = C_2\exp\left(-\alpha_2\left(\eta + \frac{b}{2}\right)\right) \text{ — вблизи границы } \eta = -\frac{b}{2}\text{, где } \alpha_2 = \left|\sqrt{2k_1^2 + k_2^2}\right|; \qquad (11)$$

$$\psi(\eta) = C_2\exp\left(-\alpha_2\left(\frac{b}{2} - \eta\right)\right) \text{ — вблизи границы } \eta = \frac{b}{2}\text{, где } \alpha_2 = \left|\sqrt{2k_1^2 + k_2^2}\right|.$$

Рассмотрим граничные условия на концах $\eta = \pm\frac{b}{2}$:

$$Am(\xi,\eta) = 0 \qquad \frac{\partial^2 Am(\xi,\eta)}{\partial\eta^2} + \nu\frac{\partial^2 Am(\xi,\eta)}{\partial\xi^2} = c\cdot\frac{\partial Am(\xi,\eta)}{\partial\eta},$$

где c — жёсткость упругого защемления (4); ν — коэффициент Пуассона для стали.

Учтём, что вдоль всей стороны пластины $\eta = -\frac{b}{2}$ функция $f(\xi)$ равна нулю во всех точках за исключением угловых точек, поэтому можно записать:

$$Am(\xi,\eta) = \left[C_0\cos k_2\frac{b}{2} + \psi(\eta)\right]\cdot\cos k_1\xi\,, \qquad (12)$$

$$Am(\xi,\eta)\Big|_{\eta=-\frac{b}{2}} = \left[C_0\cos k_2\frac{b}{2} + C_2\right]\cdot\cos k_1\xi = 0\,.$$

Для записи второго условия определим необходимые производные:

$$\frac{dAm(\xi,\eta)}{d\eta} = \cos k_1\xi\cdot\left[-C_0k_2\sin k_2\eta - \alpha_2C_2\exp\left(-\alpha_2\left(\eta + \frac{b}{2}\right)\right)\right] \qquad (13)$$

$$\frac{d^2 Am(\xi,\eta)}{d\eta^2} = \cos k_1\xi\cdot\left[-C_0k_2^2\cos k_2\eta - \alpha_2^2C_2\exp\left(-\alpha_2\left(\eta + \frac{b}{2}\right)\right)\right].$$

Подставляя выражения производных в уравнение (13), получим при $\eta = -\frac{b}{2}$:

$$\cos k_1\xi \cdot \left(-C_0 k_2^2 \cos k_2 \frac{b}{2} + \alpha_2^2 C_2\right) + \nu\left(C_0 \cos k_2 \frac{b}{2} + C_2\right) \cdot \left(-k_1^2 \cos k_1 \xi\right) =$$
$$= \frac{c}{D} \cos k_1 \xi \left(C_0 k_2 \sin k_2 \frac{-b}{2} - \alpha_2 C_2\right).$$

Окончательно получаем систему уравнений вида:

$$C_0 \cos k_2 \frac{b}{2} + C_2 = 0,$$

$$C_0 \left(-k_2^2 \cos k_2 \frac{b}{2} - k_1^2 \nu \cos k_2 \frac{b}{2} + \frac{c}{D} k_2 \sin k_2 \frac{b}{2}\right) + C_2 \left(\alpha_2^2 - \nu k_1^2 + \alpha_2 \cdot \frac{c}{D}\right) = 0.$$

Рассмотрим условия свободных краёв:

$$\frac{\partial^2 Am(\xi,\eta)}{\partial \xi^2} + \nu \frac{\partial^2 Am(\xi,\eta)}{\partial \eta^2} = 0 \quad \frac{\partial^3 Am(\xi,\eta)}{\partial \xi^3} + (2-\nu) \frac{\partial^3 Am(\xi,\eta)}{\partial \xi \partial \eta^2} \text{ при } \xi = \pm \frac{a}{2}.$$

Учтём, что вдоль всей стороны пластины $\xi = -\frac{a}{2}$ функция $\psi(\eta)$ равна нулю во всех точках за исключением угловых точек, поэтому можно записать:

$$Am(\xi,\eta)\Big| = \left[C_0 \cos k_1 \xi + f(\xi)\right] \cdot \cos k_2 \eta = 0,$$

$$Am(\xi,\eta)\Big|_{\xi=-\frac{a}{2}} = \left[C_0 \cos k_1 \frac{a}{2} + C_1\right] \cdot \cos k_2 \eta = 0.$$

Для записи второго условия определим необходимые производные:

$$\frac{d^2 Am(\xi,\eta)}{d\xi^2} = \cos k_2 \eta \cdot \left[-C_0 k_1^2 \cos k_1 \xi - \alpha_1^2 C_1 \exp\left(-\alpha_1 \left(\xi + \frac{a}{2}\right)\right)\right],$$

$$\frac{d^2 Am(\xi,\eta)}{d\eta^2} = \cos k_1 \xi \cdot \left[-C_0 k_2^2 \cos k_2 \eta - \alpha_2^2 C_2 \exp\left(-\alpha_2 \left(\eta + \frac{b}{2}\right)\right)\right],$$

$$\frac{d^3 Am(\xi,\eta)}{d\xi^3} = \cos k_2 \eta \cdot \left[C_0 k_1^3 \sin k_1 \xi - \alpha_1^3 C_1 \exp\left(-\alpha_1 \left(\xi + \frac{a}{2}\right)\right)\right],$$

$$\frac{d^3 Am(\xi,\eta)}{d\eta^2 d\xi} = -k_2^2 \cos k_2 \eta \cdot \left[-C_0 k_1 \sin k_1 \xi - \alpha_1 C_1 \exp\left(-\alpha_1 \left(\xi + \frac{a}{2}\right)\right)\right].$$

Граничные условия на свободных сторонах, учитывая, что косинус является чётной функцией, записываем в виде:

$$\cos k_2 \eta \cdot \left(-C_0 k_1^2 \cos k_1 \frac{a}{2} + \alpha_1^2 C_1\right) - \nu k_2^2 \cos k_1 \xi \left(C_0 \cos k_1 \frac{a}{2} + C_1\right) = 0,$$

$$\cos k_2 \eta \cdot \left(-C_0 k_1^3 \sin k_1 \frac{-a}{2} - \alpha_1^3 C_1\right) + (2-\nu) k_2^2 \cos k_2 \eta \left(-C_0 \sin k_1 \frac{-a}{2} + a_1 C_1\right) = 0.$$

Окончательно получаем систему уравнений вида:

$$C_0 \left(-k_1^2 \cos k_1 \frac{a}{2} - \nu k_2^2 \cos k_1 \frac{a}{2}\right) + C_1 \left(\alpha_1^2 - \nu k_2^2\right) = 0,$$

$$C_0 \cdot \left(k_1^3 \sin k_1 \frac{a}{2} + (2-\nu) k_2^2 \sin k_1 \frac{a}{2}\right) + C_1 \left(a_1 (2-\nu) k_2^2 - \alpha_1^3\right) = 0,$$

где $\alpha_1 = \sqrt{k_1^2 + 2k_2^2}$; $\alpha_2 = \sqrt{2k_1^2 + k_2^2}$.

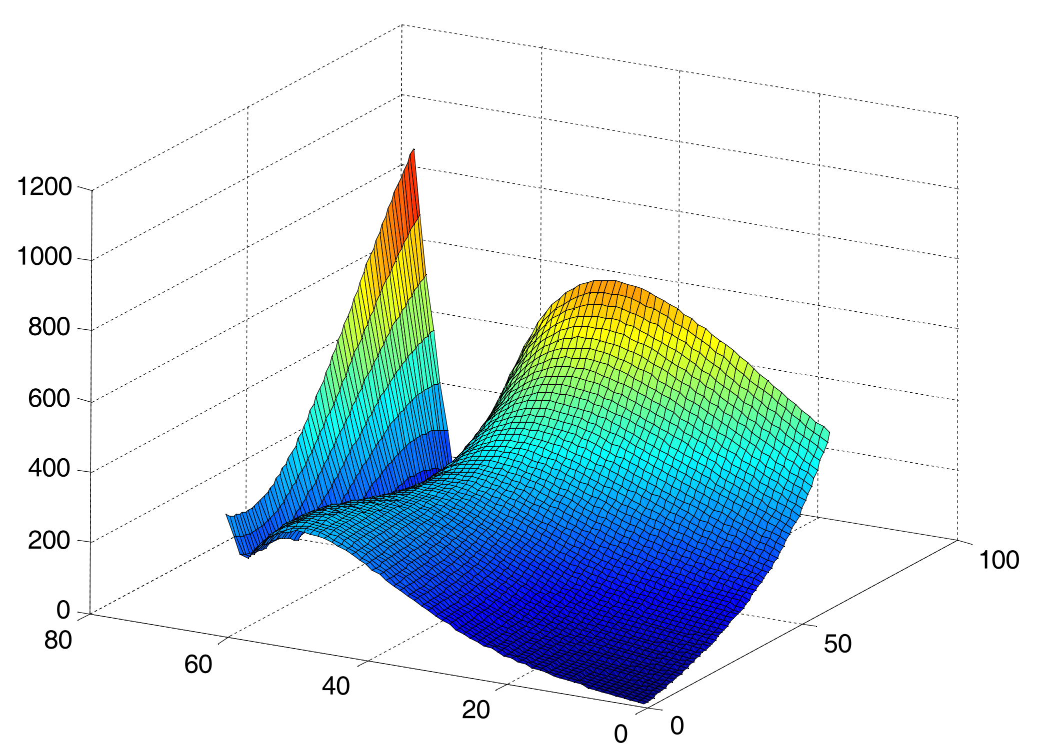


Рис. 2. Зависимость функции $F(k_1,k_2)$ от волновых чисел

Для одновременного выполнения приведённых уравнений необходимо, чтобы определители этих уравнений равнялись нулю, то есть решения следующих уравнений:

$$F1=\begin{vmatrix} \cos k_2\dfrac{b}{2} & 1 \\ -k_2^2\cos k_2\dfrac{b}{2}-k_1^2\nu\cos k_2\dfrac{b}{2}+\dfrac{c}{D}k_2\sin k_2\dfrac{b}{2} & \alpha_2^2-\nu k_1^2+\alpha_2\cdot\dfrac{c}{D}\end{vmatrix}=0,$$

$$F2=\begin{vmatrix} -k_1^2\cos k_1\dfrac{a}{2}-\nu k_2^2\cos k_1\dfrac{a}{2} & \alpha_1^2-\nu k_2^2 \\ k_1^3\sin k_1\dfrac{a}{2}+(2-\nu)k_2^2\sin k_1\dfrac{a}{2} & a_1(2-\nu)k_2^2-\alpha_1^3\end{vmatrix}=0.$$

Для обоснования дальнейших рассуждений был использован пакет прикладных программ MatLab. В результате была построена поверхность, определяемая выражением: $F(k_1,k_2)=abs\left(F1(k_1,k_2)\right)+abs\left(F2(k_1,k_2)\right)$ (рис. 2).

Как следует из анализа полученной поверхности, «овраг» существует. Для того чтобы уточнить начальные значения волновых чисел, строим контурный график (рис. 3). Как видно из него, значения волновых чисел лежат около значений $k_1=5, k_2=5$ (графики построены относительно индексов, значит, при расчётном шаге $0{,}1$ индексу 50 соответствует волновое число 5).

Расчёт, проведённый в среде MatLab с использованием встроенной функции «fsolve», позволил получить следующие результаты:

k =	fval =	ex =
5.194	8.3576e-015	1
5.0265	-2.2737e-012	

Заключение. Как видно из полученных результатов, значение ошибки решения задачи «fval» имеет порядок $10^{-12}\div10^{-15}$, то есть точность вполне достаточна. Значение «ex» является положи-

тельным числом, что, по условиям MatLab'a, означает успешное прохождение расчёта. Полученные результаты позволяют использовать разработанные программы для проведения математического моделирования как свободных, так и вынужденных движений пилы.

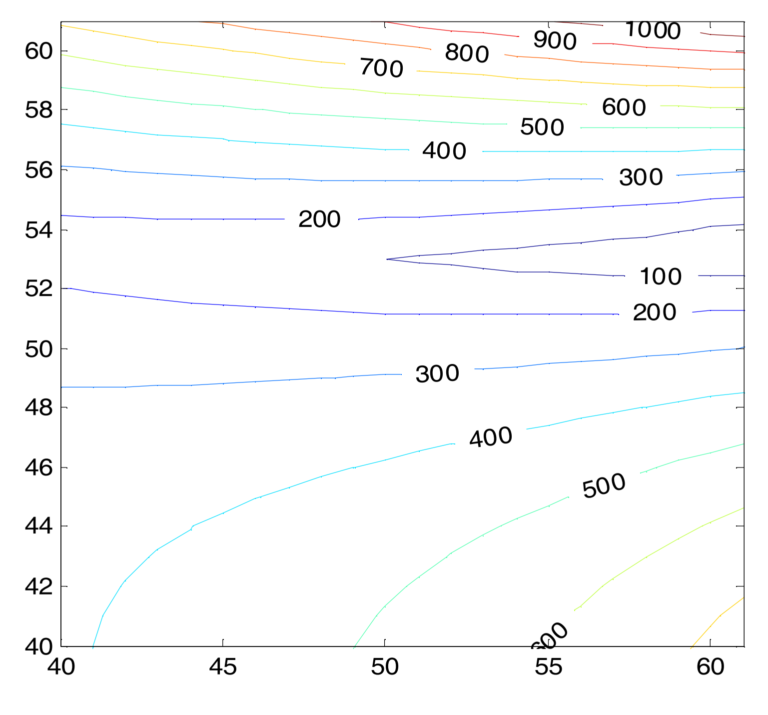


Рис. 3. Контурный график

Библиографический список

1. Болотин, В. В. Динамический краевой эффект при упругих колебаниях пластинок / В. В. Болотин // Инженерный сборник. — М.: Институт механики АН СССР, 1961. — Т. 31. — С. 3–14.
2. Бидерман, В. Л. Прикладная теория механических колебаний / В. Л. Бидерман. — М.: Высшая школа, 1980. — С. 480.

Материал поступил в редакцию 17.02.2012.

References

1. Bolotin, V. V. Dinamicheskij kraevoj e`ffekt pri uprugix kolebaniyax plastinok / V. V. Bolotin // Inzhenerny`j sbornik. — M.: Institut mexaniki AN SSSR, 1961. — T. 31. — S. 3–14. — In Russian.
2. Biderman, V. L. Prikladnaya teoriya mexanicheskix kolebanij / V. L. Biderman. — M.: Vy`sshaya shkola, 1980. — S. 480. — In Russian.

SAW FREE MOTION STUDY

A. A. Avakyan
(Moscow State University of Technologies and Management, Rostov-on-Don Branch),
V. A. Finochenko
(Rostov State Transport University),
A. N. Chukarin
(Don State Technical University)

Saw proper motion is studied through the building and analysis of the tool mathematical model based on the elasticity theory equations. The suggested mathematical model can be used for building behavior diagnostic systems.
Keywords: *saw, mathematical model, natural frequencies.*

УДК 620.179.17-715.6

К вопросу метрологической оценки метода акустической эмиссии как инструмента контроля процесса импрегнирования пористых материалов

В. Л. Гапонов, Д. М. Кузнецов, Е. С. Черунова*, М. С. Захарова
(Донской государственный технический университет,
*Донской филиал Центра тренажеростроения)

Рассмотрена возможность использования метода акустической эмиссии (АЭ) для изучения процессов импрегнирования тканых материалов. В частности установлено, что кривая суммарного счёта АЭ независимо от размера образца может быть описана уравнением общего вида. Экспериментально установлена постоянная времени релаксации для хлопчатобумажной ткани.
Ключевые слова: *акустическая эмиссия, процесс импрегнирования, тканые материалы, амплитуда сигналов, суммарный счёт сигналов.*

Введение. Осуществление производственной деятельности человека в условиях жидких агрессивных сред в процессе эксплуатации связано с модифицированием свойств тканей защитной одежды. Модифицирование свойств текстильных материалов достигается, в первую очередь, их импрегнированием определённой жидкостью. Импрегнирование как процесс изменения свойств пористых тел при заполнении их пустот импрегнатом различного вида находит в настоящее время всё более широкое применение, а текстильные материалы, в свою очередь, представляют собой классический пример пористых тел [1].

Основная часть. Для полного представления о кинетике импрегнирования текстильных материалов необходимо изучить их капиллярные свойства, что позволит получить данные о процессах загрязнения их в результате контакта с агрессивными жидкостями, в том числе с нефтью, которая сопровождает профессиональную деятельность по нефтедобыче. Текстильные материалы способны поглощать жидкость при соприкосновении, под воздействием сил поверхностного натяжения и сорбции, что относится к разряду капиллярных явлений. К капиллярным явлениям, как правило, относят явления в жидкостях, которые вызваны искривлением их поверхности, граничащей с другой жидкостью, газом, собственным паром или твёрдым телом.

Возможность фиксирования таких сложных для улавливания деформаций, которые происходят не только на первой стадии проникновения жидкости по одному из каналов на обратную сторону текстильного материала, но и до момента полного насыщения текстильной структуры (простой и многослойной), в настоящей работе установлена при использовании акустико-эмиссионного метода [2, 8].

Метод акустической эмиссии (АЭ) при пропитке основан на фиксации акустических колебаний, возникающих в жидкости в результате образования, движения и последующего схлопывания газовых пузырьков. Газовые пузырьки образуются в результате заполнения пор и пустот в материале импрегнатом. Методика регистрации сигналов АЭ в жидкой среде описана в ряде публикаций [2—10], поэтому целью настоящей работы являлся, в первую очередь, анализ полученных экспериментальных данных.

Достоверно установлено, что с момента погружения образца пористого текстильного материала в жидкость регистрируется индуцирование акустических сигналов, причём их характеристики, в частности амплитуда, энергия и длительность, с самого начала свидетельствуют об индивидуальности процесса в зависимости от вида выбранной ткани.

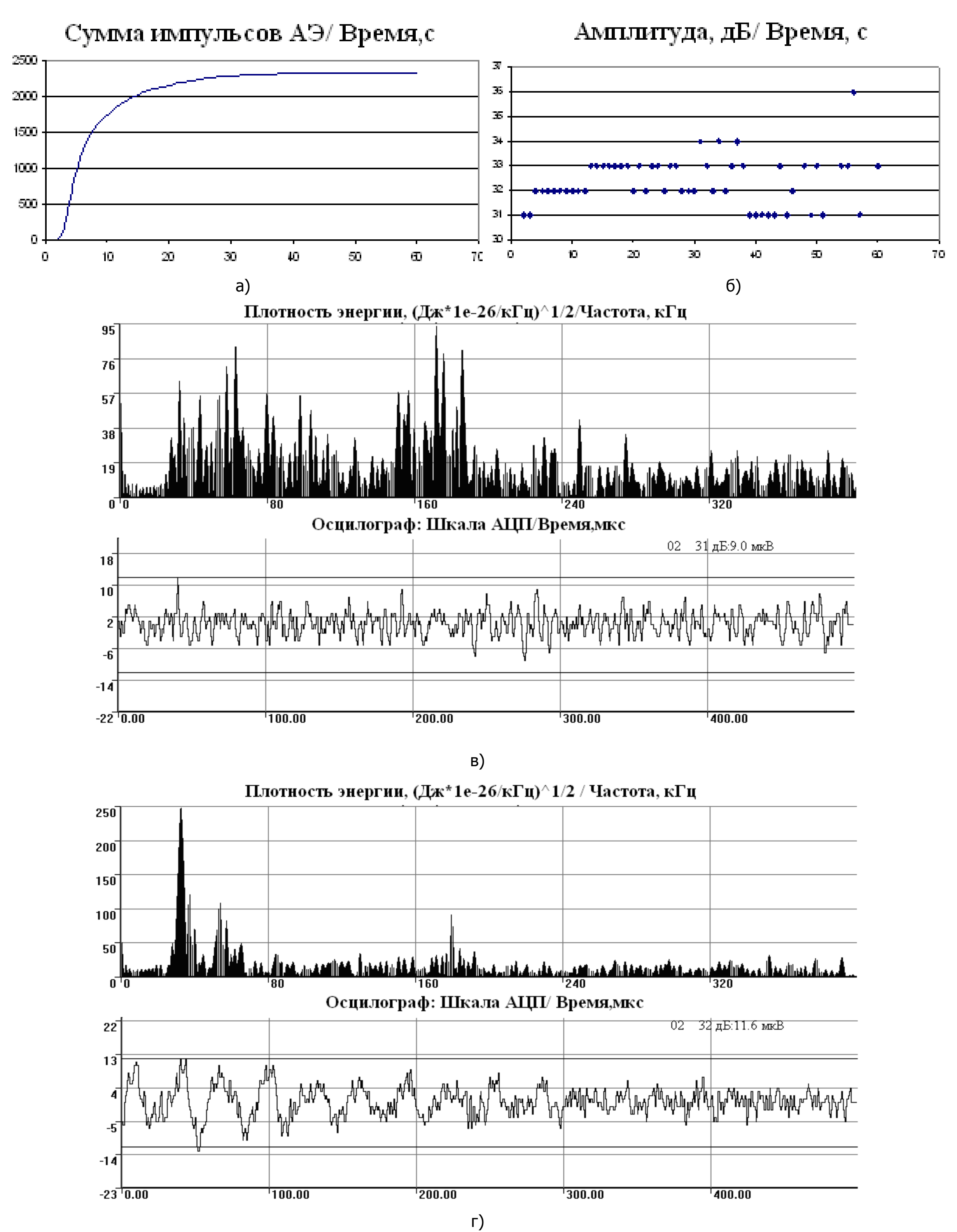


Рис. 1. Динамика пропитки хлопчатобумажной ткани водой, отражаемая в сигналах акустической эмиссии: а — изменение суммы импульсов АЭ; б — изменение амплитуды импульсов АЭ; в, г — осциллограммы и амплитудно-частотная характеристика регистрируемого ультразвукового сигнала: в — начало процесса пропитки, г — продолжение процесса пропитки

По мере пропитывания образца наблюдается отчётливо выраженная динамика изменения всех параметров АЭ. В качестве иллюстрации на рис. 1 представлены типичные данные по изме-

нению суммы импульсов, активности АЭ и амплитуды сигналов при пропитке водой ткани с волокнистым составом 100 % хлопка.

Рассмотрим динамику изменения активности сигналов АЭ во времени. Остановимся на общих положениях, основанных на предположении, что количество сигналов АЭ (N), индуцируемых при пропитке, пропорционально количеству заполненных жидкостью пор в пропитываемом образце (M):

$$N \approx f\left(M\right) \tag{1}$$

Соответственно, активность сигналов АЭ $\frac{dN}{dt}$ пропорциональна скорости изменения количества пор в пропитываемом образце:

$$\frac{dN}{dt} = K\frac{dM}{dt}, \tag{2}$$

где K — коэффициент пропорциональности.

В начальный момент времени количество пор в образце равно m. В любой момент времени (t) количество незаполненных пор равно разности ($m - M$), а скорость пропитки равна $\frac{dM}{dt}$. Предположим, что скорость пропитки пропорциональна текущему значению количества незаполненных пор, т. е. ($m - M$). Следовательно, мы получим следующее дифференциальное уравнение процесса:

$$\frac{dM}{dt} = k\left(m - M\right) \tag{3}$$

Интегрируя это уравнение, получим решение относительно текущего количества незаполненных пор $m - M$ при начальном условии $M = 0$, при $t = 0$:

$$m - M = me^{-t/\tau}, \tag{4}$$

где τ — это постоянная времени релаксации, которая зависит от скорости заполнения пор, а, следовательно, и от вида материала, и от реологических параметров жидкости (вязкости, коэффициента поверхностного натяжения, угла смачивания).

Поскольку в наших проводимых экспериментах мы используем только один вид импрегнирующей жидкости, а именно — воду, то постоянная времени релаксации τ будет определяться только видом ткани. Она должна быть индивидуальна и постоянна для данного вида ткани вне зависимости от количества индуцируемых сигналов АЭ. Для определения постоянной времени релаксации τ воспользуемся экспериментальными данными по изменению активности АЭ и суммарного счёта при пропитке хлопчатобумажной ткани водой при комнатной температуре.

Используя уравнение (4), мы приходим к уравнению динамики изменения общего (суммарного) количества сигналов АЭ по мере пропитки:

$$N = Km\left(1 - e^{-t/\tau}\right), \tag{5}$$

где K — это коэффициент, зависящий от методики регистрации акустических сигналов и чувствительности акустико-эмиссионной аппаратуры, а m — количество пор в образце в начальный момент времени.

Форма кривой, соответствующей уравнению (5), идентична кривой изменения суммарного счёта импульсов АЭ (см. рис. 1 и 2).

С целью определения количественных значений параметров, входящих в уравнение (5), проведена статистическая обработка полученных экспериментальных данных. На приведённых ниже рис. 3. и 4 представлена динамика изменения суммарного счёта сигналов АЭ при пропитке водой образцов ткани с волокнистым составом 100 % хлопка диаметром 80 мм и 200 мм (рис. 4)

соответственно. На этих же графиках показана кривая общего вида $y = Km\left(1 - e^{-t/\tau}\right)$ с количественными значениями, максимально близко соответствующими экспериментальным данным.

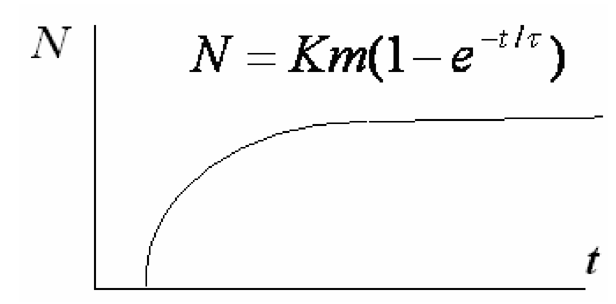


Рис. 2. Форма кривой, описываемой уравнением $N = Km\left(1 - e^{-t/\tau}\right)$

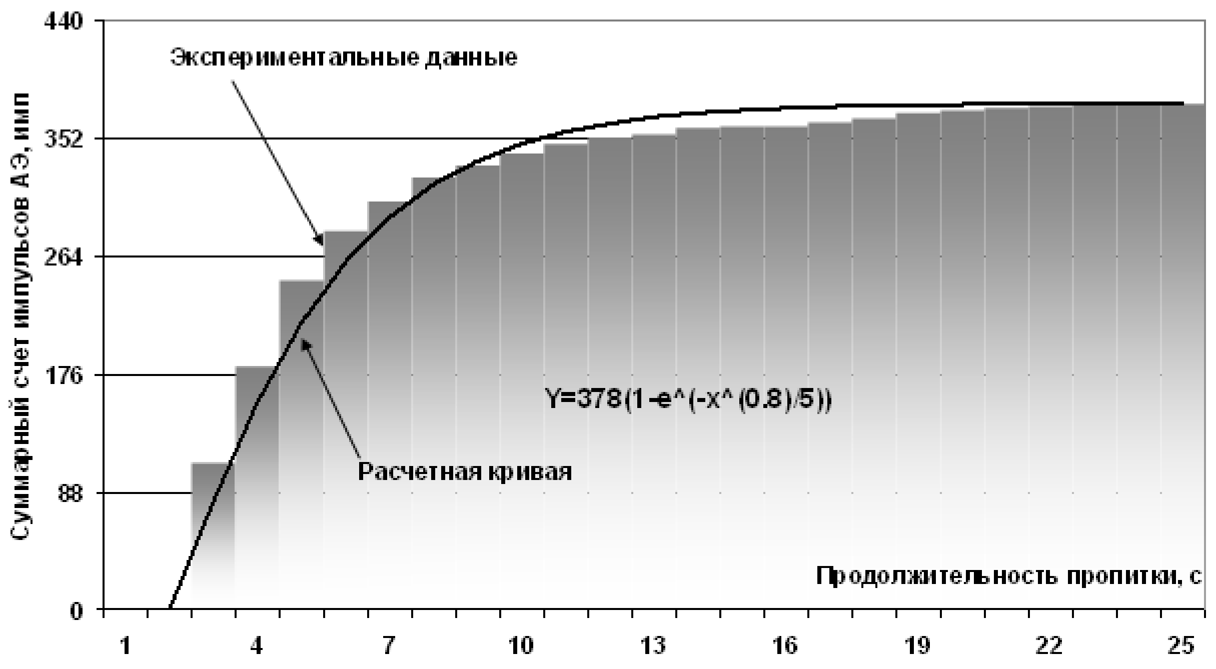


Рис. 3. Изменение суммарного счёта АЭ при пропитке образца хлопчатобумажной ткани диаметром 80 мм

Анализ статистически полученных расчётных кривых свидетельствует, что параметр *Km* увеличивается с размером пропитываемого образца, что также подтверждает концептуальную правильность уравнения (5). Увеличение размера образца вызывает увеличение числа пропитываемых пор, что и приводит к росту параметра *Km*. Но наиболее важный результат — это факт неизменности постоянной времени релаксации τ для одного и того же вида импрегнируемого материала — в данном случае ткани с волокнистым составом 100 % хлопка. Именно на этом основывается наблюдаемая внешняя схожесть графиков суммарного счёта импульсов АЭ при пропитке различных по размеру образцов одной и той же ткани. Изменение вида ткани вызывает изменение постоянной времени релаксации τ и, соответственно, наклон кривой суммарного счёта импульсов АЭ.

Несмотря на различие в количестве регистрируемых сигналов АЭ при пропитке образцов хлопчатобумажной ткани различного размера, наблюдается одинаковое изменение относительной погрешности метода.

На рис. 5 представлена динамика изменения относительной погрешности в процессе пропитки. Из данного графика становится очевидно, что на заключительной стадии процесса пропит-

ки независимо от размера ткани погрешность метода составляет не более 0,3 %. Размер пропитываемой ткани влияет на амплитуду, количество сигналов, но характер изменения активности суммарного счёта для ткани одного и того же вида остаётся неизменным.

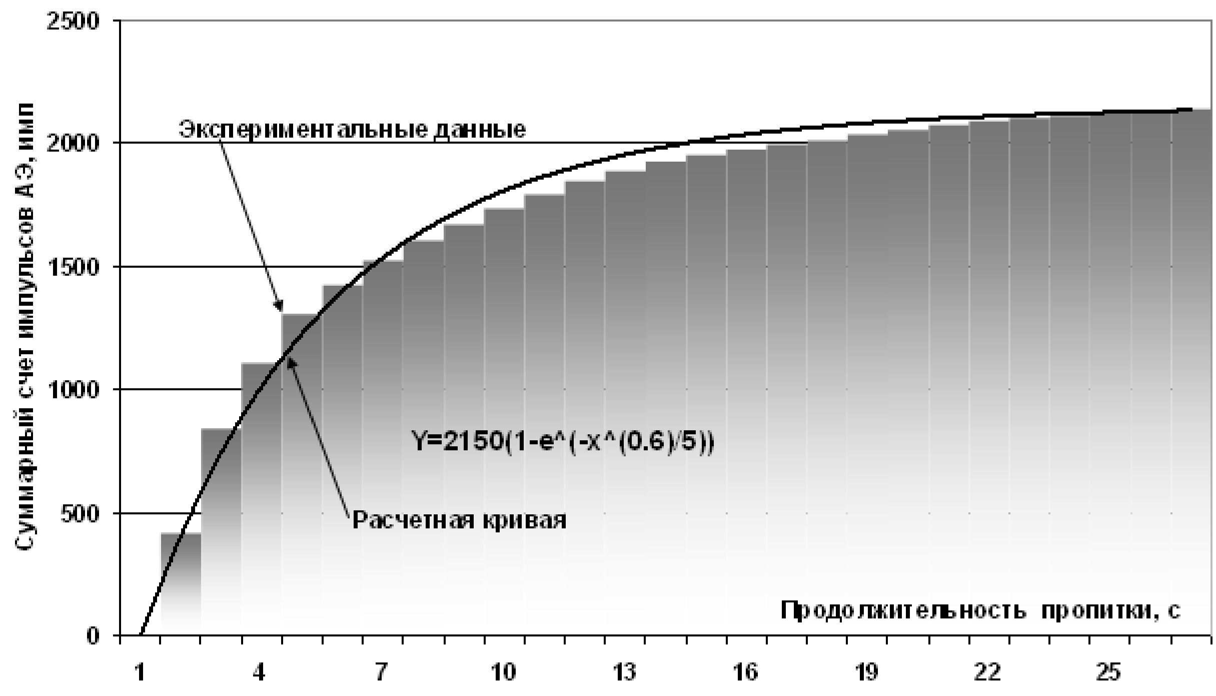


Рис. 4. Изменение суммарного счёта АЭ при пропитке образца хлопчатобумажной ткани диаметром 200 мм

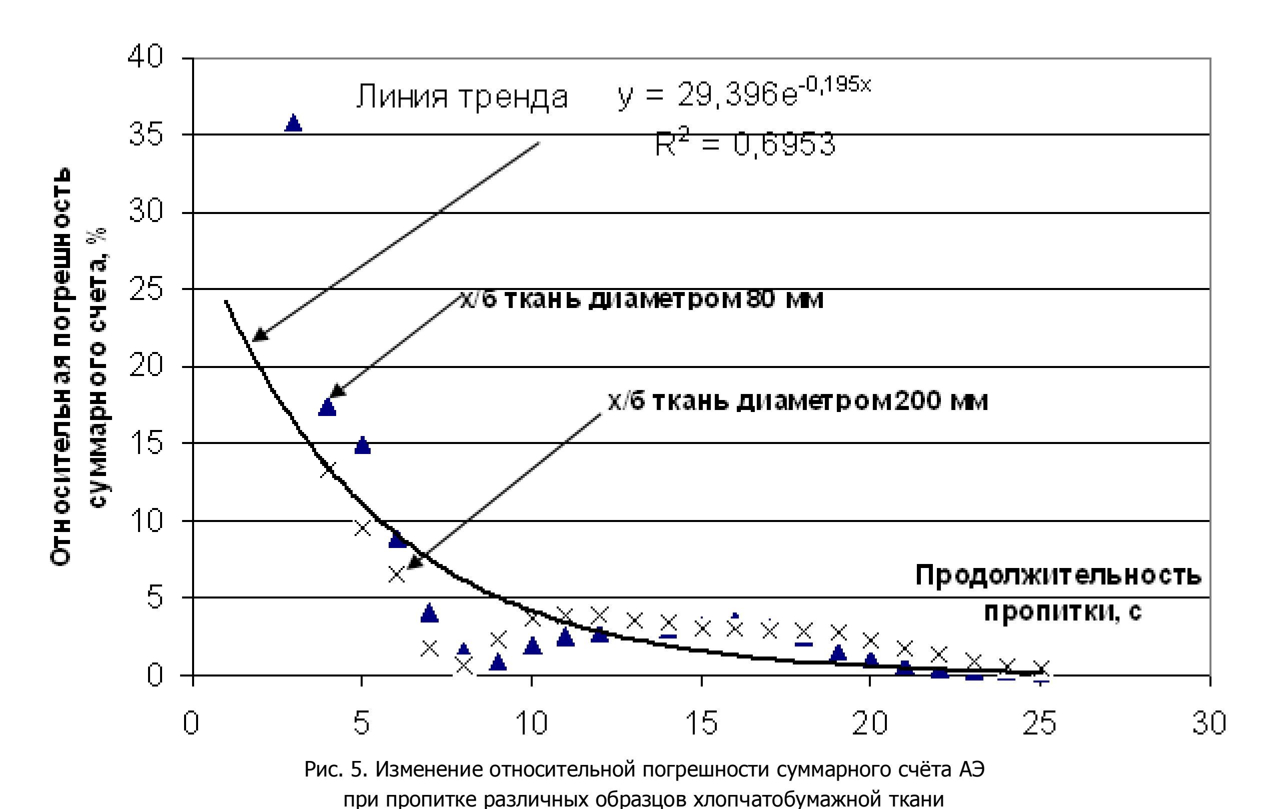


Рис. 5. Изменение относительной погрешности суммарного счёта АЭ при пропитке различных образцов хлопчатобумажной ткани

Выводы. Таким образом, теоретические исследования показывают, что, во-первых, суммарное количество импульсов АЭ при пропитке ткани зависит от количества пор, а, следовательно, раз-

мера пропитываемого образца, и, во-вторых, даже незначительное изменение условий пропитки приведёт к изменению как реологии жидкости, так и регистрируемых акустических параметров. Следовательно, для обеспечения воспроизводимости и последующей метрологической оценки метода АЭ применительно к изучению импрегнирования гибких пористых материалов следует проводить измерение в максимально возможных идентичных условиях. Становится очевидным из работы, что метод АЭ в состоянии решить целый ряд проблем, связанных с повышением точности инженерных расчётов конструкций из гибких пористых материалов, подвергающихся механическим деформациям и комплексным теплофизическим, электрическим воздействиям в условиях переменных сред, включая жидкофазные. Исследование явлений диффузии в тканых материалах методом акустической эмиссии позволяет в перспективе создать на его основе метод оценки стабильности различных технических систем в любых жидкофазных средах.

Библиографический список

1. Бузов, Б. А. Лабораторный практикум по материаловедению швейного производства: учеб. пособие для высш. учеб. заведений лёгкой промышленности / Б. А. Бузов, Н. Д. Алыменков, Д. Г. Петропавловский. — Москва: Академия, 2003. — 416 с.

2. Гапонов, В. Л. Способ контроля качества пропитки изделия / В. Л. Гапонов, Д. М. Кузнецов, Т. В. Моргунова, Е. С. Черунова // Пат. RU 2383016 C1 Российская Федерация. G01N29/14. № 2008138518/28; заявл. 26.09.2008; опубл. 27.02.10, Бюл. № 14. — 5 с.

3. Гапонов, В. Л. Моделирование диффузионного переноса твёрдого вещества, растворённого в жидкой среде / В. Л. Гапонов, Д. М. Кузнецов, В. В. Трепачёв // Инженерный вестник Дона: электрон. науч.-инновационный журнал. — 2011. — № 11. — С. 1—14.

4. Влияние площади поверхности кристаллов на акустико-эмиссионные параметры растворения / В. Л. Гапонов [и др.] // Вестник развития науки и образования. — 2011. — № 3. — С. 7—14.

5. Акустико-эмиссионная оценка динамических характеристик процесса растворения ионных кристаллов / С. И. Буйло [и др.] // Тр. III Междунар. симпозиума «Среды со структурным магнитным упорядочением» (Maltiferros-3), Ростов-на-Дону, п. Лоо, 4—8 сентября 2011 г. — Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ ЮФУ АПСН, 2011. — С. 24—28.

6. Акустико-эмиссионная диагностика кинетики растворения ионных кристаллов / С. И. Буйло [и др.] // Мат-лы 19-й Междунар. конф. «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики», Ялта (Гурзуф), 3—7 октября 2011 г. — Гурзуф-Киев: УИЦ «Наука. Техника. Технология». — С. 160—163.

7. Гапонов, В. Л. Диффузионный перенос твёрдого вещества, растворённого в подвижной жидкой среде / В. Л. Гапонов, Д. М. Кузнецов, В. В. Трепачёв // Сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. «Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения». — Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2011. — С. 352—354.

8. Исследование процесса импрегнирования методом акустической эмиссии / В. Л. Гапонов [и др.] // Вестник ДГТУ. — 2011. — № 7. — С. 1016—1024.

9. Кузнецов, Д. М. Влияние выделения окклюдированных газов на акустическую эмиссию в процессе сольватации кристаллов / Д. М. Кузнецов, П. Н. Козаченко, О. О. Баранникова // Вестник ДГТУ. — 2011. — № 8, вып. 1. — С. 1149—1156.

10. Трепачёв, В. В. Математическое моделирование сигналов акустической эмиссии при сольватизации. Математические методы в технике и технологиях / В. В. Трепачёв, Д. М. Кузнецов, П. В. Гаевская // ММТТ—24: сб. трудов XXIV Междунар. науч. конф. Т. 7. Секция 3, 2011 г. — С. 112—114.

Материал поступил в редакцию 26.12.2011.

References

1. Buzov, B. A. Laboratorny`j praktikum po materialovedeniyu shvejnogo proizvodstva: ucheb. posobie dlya vy`ssh. ucheb. zavedenij lyogkoj promy`shlennosti / B. A. Buzov, N. D. Aly`menkov, D. G. Petropavlovskij. — Moskva: Akademiya, 2003. — 416 s. — In Russian.

2. Gaponov, V. L. Sposob kontrolya kachestva propitki izdeliya / V. L. Gaponov, D. M. Kuzneczov, T. V. Morgunova, E. S. Cherunova // Pat. RU 2383016 C1 Rossijskaya Federaciya. G01N29/14. № 2008138518/28; zayavl. 26.09.2008; opubl. 27.02.10, Byul. № 14. — 5 s. — In Russian.

3. Gaponov, V. L. Modelirovanie diffuzionnogo perenosa tvyordogo veshhestva, rastvoryonnogo v zhidkoj srede / V. L. Gaponov, D. M. Kuzneczov, V. V. Trepachyov // Inzhenerny`j vestnik Dona: e`lektron. nauch.-innovacionny`j zhurnal. — 2011. — № 11. — S. 1—14. — In Russian.

4. Vliyanie ploshhadi poverxnosti kristallov na akustiko-e`missionny`e parametry` rastvoreniya / V. L. Gaponov [i dr.] // Vestnik razvitiya nauki i obrazovaniya. — 2011. — № 3. — S. 7—14. — In Russian.

5. Akustiko-e`missionnaya ocenka dinamicheskix xarakteristik processa rastvoreniya ionny`x kristallov / S. I. Bujlo [i dr.] // Tr. III Mezhdunar. simpoziuma «Sredy` so strukturny`m magnitny`m uporyadocheniem» (Maltiferros-3), Rostov-na-Donu, p. Loo, 4—8 sentyabrya 2011 g. — Rostov-na-Donu: Izd-vo SKNCz VSh YuFU APSN, 2011. — S. 24—28. — In Russian.

6. Akustiko-e`missionnaya diagnostika kinetiki rastvoreniya ionny`x kristallov / S. I. Bujlo [i dr.] // Mat-ly` 19-j Mezhdunar. konf. «Sovremenny`e metody` i sredstva nerazrushayushhego kontrolya i texnicheskoj diagnostiki», Yalta (Gurzuf), 3—7 oktyabrya 2011 g. — Gurzuf-Kiev: UICz «Nauka. Texnika. Texnologiya». — S. 160—163. — In Russian.

7. Gaponov, V. L. Diffuzionny`j perenos tvyordogo veshhestva, rastvoryonnogo v podvizhnoj zhidkoj srede / V. L. Gaponov, D. M. Kuzneczov, V. V. Trepachyov // Sb. tr. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Sostoyanie i perspektivy` razvitiya sel`skoxozyajstvennogo mashinostroeniya». — Rostov-na-Donu: DGTU, 2011. — S. 352—354. — In Russian.

8. Issledovanie processa impregnirovaniya metodom akusticheskoj e`missii / V. L. Gaponov [i dr.] // Vestnik DGTU. — 2011. — № 7. — S. 1016—1024. — In Russian.

9. Kuzneczov, D. M. Vliyanie vy`deleniya okklyudirovanny`x gazov na akusticheskuyu e`missiyu v processe sol`vatacii kristallov / D. M. Kuzneczov, P. N. Kozachenko, O. O. Barannikova // Vestnik DGTU. — 2011. — № 8, vy`p. 1. — S. 1149—1156. — In Russian.

10. Trepachyov, V. V. Matematicheskoe modelirovanie signalov akusticheskoj e`missii pri sol`vatizacii. Matematicheskie metody` v texnike i texnologiyax / V. V. Trepachyov, D. M. Kuzneczov, P. V. Gaevskaya // MMTT—24: sb. trudov XXIV Mezhdunar. nauch. konf. T. 7. Sekciya 3, 2011 g. — S. 112—114. — In Russian.

ON METROLOGICAL EVALUATION OF ACOUSTIC EMISSION METHOD AS TOOL OF POROUS MATERIALS IMPREGNATION CONTROL

V. L. Gaponov, D. M. Kuznetsov, E. S. Cherunova, M. S. Zakharova
(Don State Technical University, *Training Equipment Manufacture Centre, Don Branch)

The possibility of using the acoustic emission (AE) method to study the impregnation processes of the woven fabric is considered. In particular, it is found that the total AE curve irrespective of the sample size can be depicted by the general equation. The relaxation response time for the woven fabric is deduced from experiments.
Keywords: *acoustic emission, impregnation process, woven fabric, amplitude of signals, total emission.*

УДК 519.63(075.8)

Математическое моделирование переходного процесса в выходной цепи управляемого электрохимического сопротивления

Ю. Я. Герасименко, Т. П. Скакунова, Е. Ю. Герасименко
(Донской государственный технический университет)

Рассматривается и решается задача получения аналитической зависимости выходной величины управляемого электрохимического сопротивления (УЭХС) от тока управления, а также выполнено математическое моделирование переходного процесса в выходной цепи УЭХС, содержащей линейную индуктивность или линейную электрическую ёмкость.
Ключевые слова: *плотность электрического тока, электрохимическое осаждение металла, электрическое сопротивление, проводимость, переходной процесс, индуктивность, дифференциальное уравнение.*

Введение. УЭХС представляет собой цилиндрический проводник длиною ℓ прямоугольного сечения (подложка) $a \times r$, изготовленный из стеклографита. Если на боковую поверхность УЭХС наносить электрохимическим способом тонкий слой металла, то сечение слоёного проводника будет увеличиваться, а его сопротивление уменьшаться. Ставится задача получить зависимость выходной величины УЭХС от тока (плотности тока) в цепи управления (рис. 1).

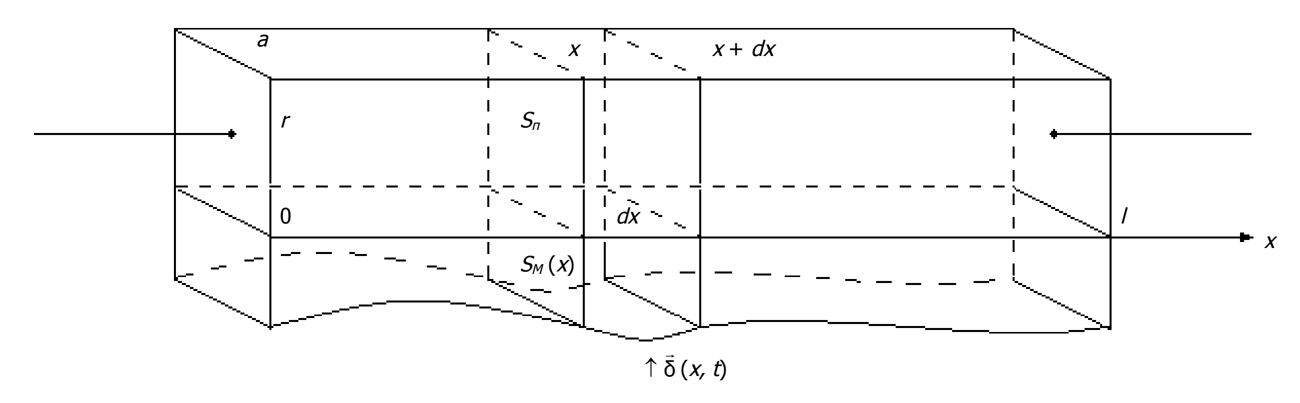


Рис. 1. Схематическое устройство УЭХС

Вывод зависимости $R(t)$ от тока управления. Пусть $\rho_п$ и $\rho_м$ — удельные электрические сопротивления материалов подложки и наносимого осадка металла, $S_п$ и $S_м(x)$ — поперечные сечения подложки и осаждённого металла, $dR_п$ — элемент электрохимического сопротивления подложки длиною dx, $dR_м$ — элемент электрического сопротивления осаждённого металла длиною dx. Тогда

$$dR_п = \frac{\rho_п dx}{S_п}, \tag{1}$$

$$dR_м = \frac{\rho_м dx}{S_м(x)}. \tag{2}$$

Параллельное включение этих элементов приводит к такому эквиваленту

$$dR = \frac{dR_п \cdot dR_м}{dR_п + dR_м}. \tag{3}$$

Подставим (1) и (2) в (3)

$$dR=\frac{\frac{\rho_п dx}{S_п}\cdot\frac{\rho_м dx}{S_м(x)}}{\frac{\rho_п dx}{S_п}+\frac{\rho_м dx}{S_м(x)}}=\frac{\frac{\rho_п}{S_п}\cdot\frac{\rho_м}{S_м(x)}}{\frac{\rho_п}{S_п}+\frac{\rho_м}{S_м(x)}}dx=\frac{\rho_п\rho_м}{\rho_п S_м(x)+\rho_м S_п}dx. \qquad (4)$$

Как видно из полученной формулы, дальнейшее исследование сводится к получению зависимости $S_м(x)$.

Пусть $\delta(x;t)$ — известное пространственно-временное распределение плотности электрического тока на управляющем электроде. Тогда $\delta(x;t)\cdot a\cdot dx$ — ток управления в момент t через площадку $a\cdot dx$. $\int\limits_0^t\delta(x;t)a\cdot dx\cdot dt$ — заряд, прошедший через площадку $a\cdot dx$ за отрезок времени $[0;t]$.

Если k — электрохимический эквивалент осаждаемого металла, то [1] $dm=k\int\limits_0^t\delta(x;t)a\cdot dx\cdot dt$ — масса осаждённого металла на площадке $a\cdot dx$, за отрезок времени $[0;t]$.

Если $\gamma_м$ — объёмная плотность осаждённого металла, то $dV_м=\frac{dm}{\gamma_м}=\frac{k\int\limits_0^t\delta(x;t)a\cdot dx\cdot dt}{\gamma_м}$ — объём осаждённого металла на площадке $a\cdot dx$ за отрезок времени $[0;t]$.

Считая форму осаждённого металла на поверхности бесконечно малой площади $a\cdot dx$ в виде параллелепипеда, можно найти площадь поперечного сечения $S_м(x)$ в точке x:

$$S_м(x)=\frac{dV_м}{dx}, \text{ или } S_м(x)=\frac{ka\int\limits_0^t\delta(x;t)dt}{\gamma_м}. \qquad (5)$$

Подставим (5) в (4)

$$dR=\frac{\rho_п\rho_м}{\rho_п\frac{ka\int\limits_0^t\delta(x;t)dt}{\gamma_м}+\rho_м\cdot S_п}dx. \qquad (6)$$

Выходная величина УЭХС легко может быть рассчитана с помощью интегрирования выражения (6) по x:

$$R(t)=\int\limits_0^{\ell}\frac{\rho_п\rho_м}{\rho_п\frac{ka\int\limits_0^t\delta(x;t)dt}{\gamma_м}+\rho_м\cdot S_п}dx. \qquad (7)$$

Полученная формула (7) может быть использована при произвольном распределении плотности тока $\delta(x;t)$ в цепи управляющего электрода, в том числе и при равномерном, когда

$$\delta(x;t)=\frac{I_у(t)}{\ell\cdot a}, \qquad (8)$$

где $I_у(t)$ — ток управления.

Подставляя (8) в (7) получаем

$$R(t) = \frac{\rho_п \rho_м \ell}{\rho_п \frac{k\int\limits_0^t I_у(t)dt}{\gamma_м \cdot \ell} + \rho_м S_п}. \quad (9)$$

При постоянном токе управления $I_у(t) = I_\circ = \text{const}$ формула (9) ещё более упрощается:

$$R(t) = \frac{\rho_п \rho_м \ell}{\rho_п \frac{kI_\circ t}{\gamma_м \ell} + \rho_м S_п}. \quad (10)$$

Зависимость $R(t)$ в соответствии с формулой (10) принимает гиперболический характер (рис. 2).

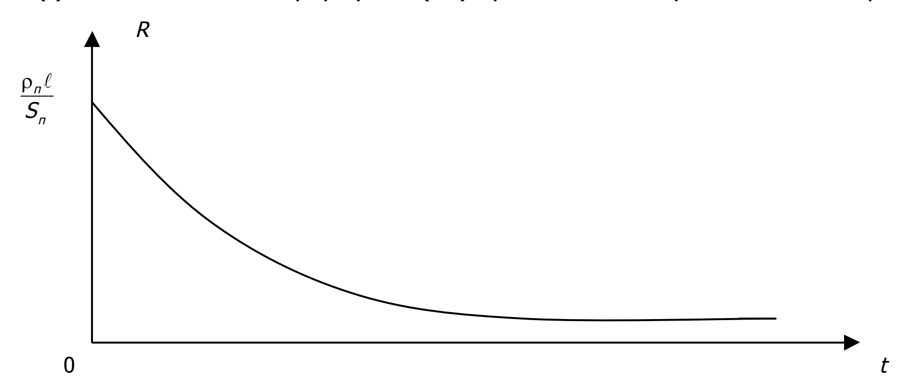


Рис. 2. Зависимость $R(t)$ от времени при $I_у(t) = I_\circ = const$

Далее при расчётах переходных процессов в схемах, содержащих УЭХС, будем считать, что распределение плотности тока в цепи управляющего электрода является равномерным, т. е. будет использоваться формула (9).

Математическое моделирование переходных процессов. Второй закон Кирхгофа для приведённой на рис. 3 схемы имеет вид

$$i(t)R(t) + i(t)R_\circ + L_\circ \frac{di(t)}{dt} = E_\circ. \quad (11)$$

Разрешая уравнение (11) относительно производной, получаем

$$\frac{di}{dt} = \frac{E_0 - i(t)\left(R(t) + R_0\right)}{L_0}. \quad (12)$$

По первому закону коммутации для данной цепи [2] $i(0-0) = i(0+0) = 0$, т. е.

$$i(0) = 0 \quad (13)$$

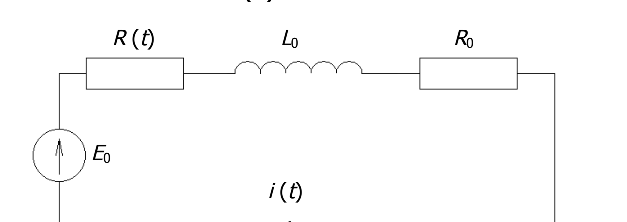


Рис. 3. Включение $R(t)$ с активно-индуктивной нагрузкой

Задача коши (12), (13) легко может быть решена численно одним из известных методов, например, методом Эйлера.

Введём в рассмотрение функцию

$$f\left(R(t);i(t)\right) \equiv \frac{E_0 - i(t)\left(R(t)+R_0\right)}{L_0}. \tag{14}$$

Пусть $t_{\max}$ — время переходного процесса, n — количество дискретных временных точек переходного процесса. Тогда временной шаг определяется соотношением

$$h = \frac{t_{\max}}{n}. \tag{15}$$

Итерационная формула Эйлера для массива тока $\left\{i_j; \mathrm{j} = \overline{0,n}\right\}$ имеет вид

$$i_{j+1} = i_j + hf\left(R_j; i_j\right), \tag{16}$$

где $R_j = R\left(t_j\right), i_j = i\left(t_j\right)$.

Алгоритм расчёта переходного процесса в схеме, изображённой на рис. 3, можно представить следующей блок-схемой (рис. 4).

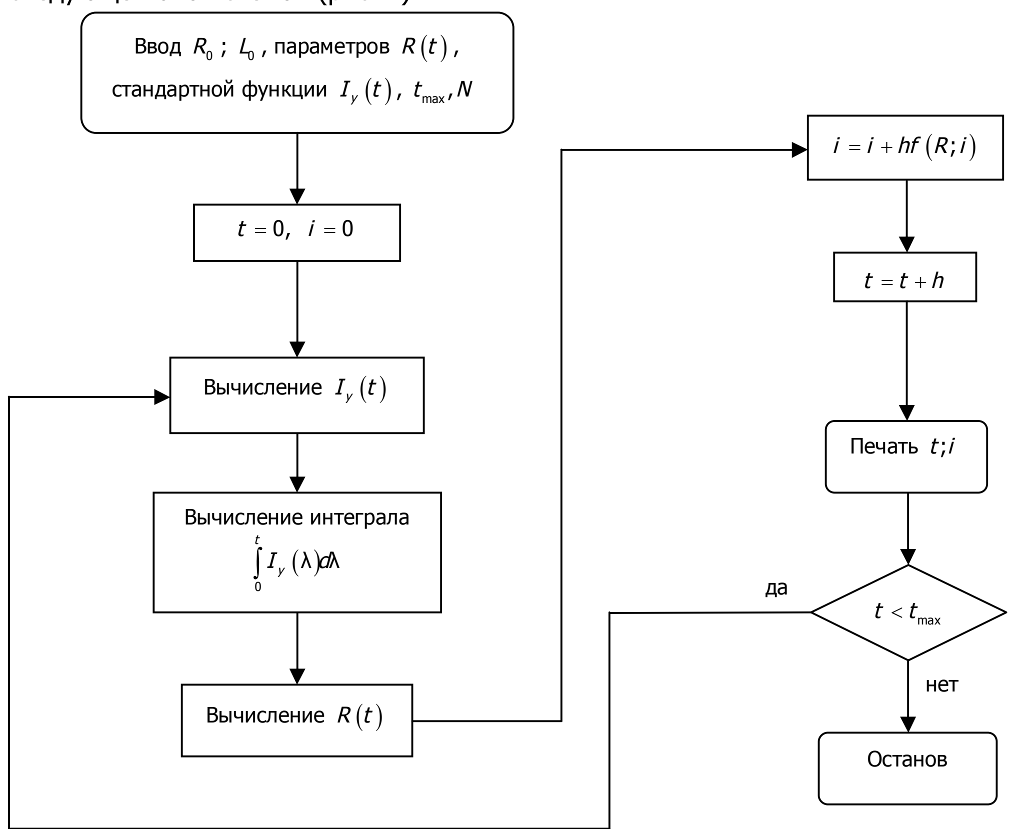


Рис. 4. Алгоритм расчёта переходного процесса в цепи $R(t) - R_0 - L_0$

При исходных данных $E_\circ = 2B; \rho_п = 8 \cdot 10^{-5} Ом \cdot м; S_п = 10 \cdot 10^{-6} м^2; \rho_м = 1{,}72 \cdot 10^{-8} Ом \cdot м;$ $\kappa = 0{,}6588 \cdot 10^{-6} кг / Кл; \ell = 0{,}10 м; I_\circ = 0{,}1 A; \gamma_м = 8{,}9 \cdot 10^3 кг / м^3; R_\circ = 5 Ом; L_\circ = 0{,}1 гн$ была рассчитана зависимость $i(t)$, представленная на рис. 5.

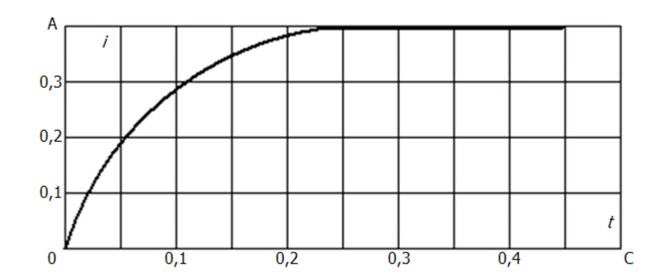


Рис. 5. Зависимость $i(t)$ для схемы включения $R(t)-R_0-L_0$

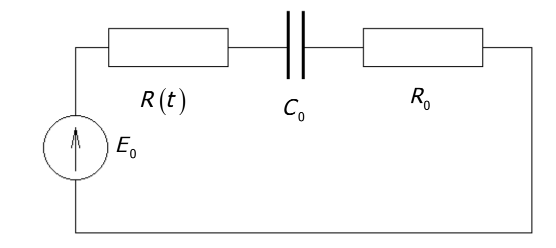


Рис. 6. Включение $R(t)$ с активно-ёмкостной нагрузкой

Второй закон Кирхгофа для приведённой на рис. 6 схемы имеет вид

$$i(t)R(t)+i(t)R_0+\frac{1}{C_0}\int_0^t i(t)dt=E_0. \tag{17}$$

Для получения дифференциального уравнения относительно $i(t)$ продифференцируем (17) по t.

$$\frac{di}{dt}R(t)+i(t)\frac{dR(t)}{dt}+R_0\frac{di}{dt}+\frac{1}{C_0}i(t),$$

откуда

$$\frac{di}{dt}=-i(t)\frac{\frac{1}{C_0}+\frac{dR(t)}{dt}}{R(t)+R_0}, \tag{18}$$

где $\frac{dR(t)}{dt}$ определяется при дифференцировании (9).

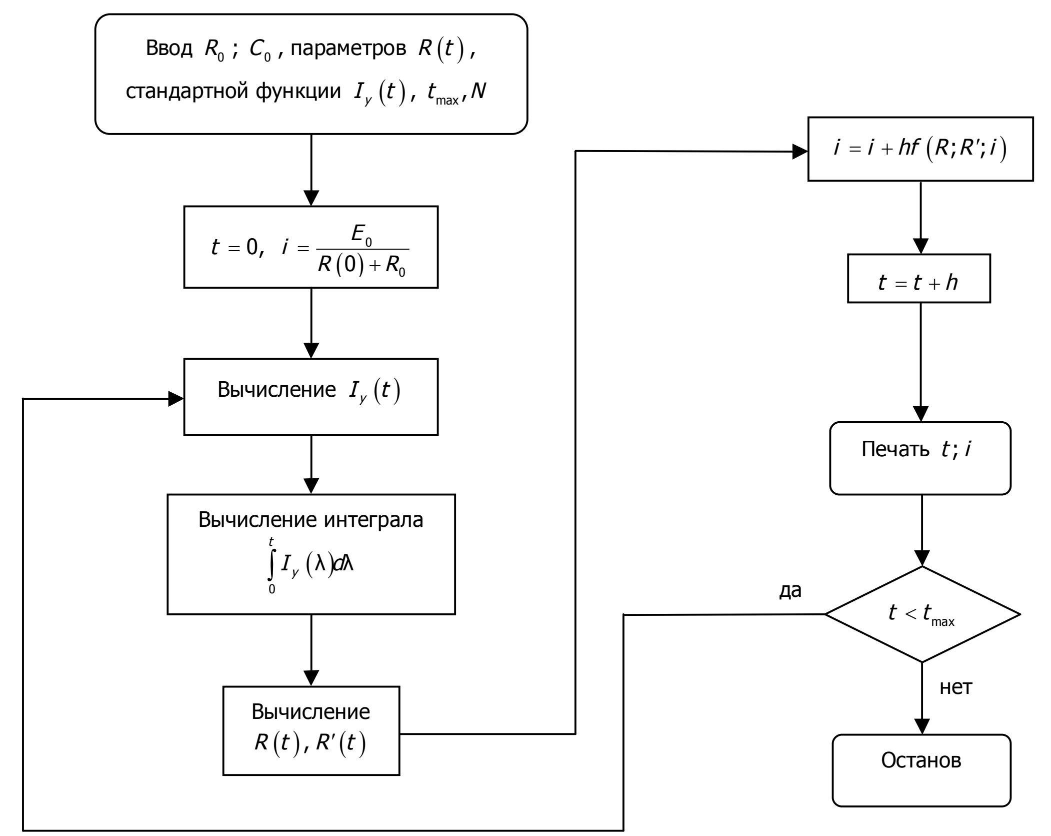


Рис. 7. Алгоритм расчёта переходного процесса в цепи $R(t)-R_0-C_0$

$$\frac{dR}{dt}=-\frac{\frac{\rho_п^2\rho_м k}{\gamma_м}I_у(t)}{\left(\frac{\rho_п k}{\gamma_м l}\int\limits_0^t I_у(t)dt+\rho_м S_п\right)^2}. \qquad (19)$$

По второму закону для схемы на рис. 6 можно записать

$$U_{c_0}(0-0)=U_{c_0}(0+0)=0,$$

откуда получаем при $t=(0+0)$

$$i(0)R(0)+i(0)R_0=E_0,$$

т. е.

$$i(0)=\frac{E_0}{R(0)+R_0}. \qquad (20)$$

Таким образом, расчёт переходного процесса для $i(t)$ в схеме на рис. 6 сводится к решению задачи Коши (18), (20).

Введём в рассмотрение функцию

$$f\left(R(t);\frac{dR}{dt};i(t)\right)\equiv -i(t)\frac{\frac{1}{C_0}+\frac{dR(t)}{dt}}{R(t)+R_0}. \qquad (21)$$

Итерационная формула Эйлера для массива тока $\left\{i_j;\ j=\overline{0,n}\right\}$ имеет вид

$$i_{j+1}=i_j+hf\left(R_j;R_j';i_j\right),$$

где

$$R_j=R(t_j),\ i_j=i(t_j),\ R_j'=\frac{dR(t_j)}{dt}.$$

Алгоритм расчёта переходного процесса в схеме, изображённой на рис. 6, можно представить следующей блок-схемой (рис. 7).

При $E_\circ=2В;R_\circ=5Ом;C_\circ=0{,}005ф$ была рассчитана зависимость тока $i(t)$ (рис. 8) в схеме, представленной на рис. 6.

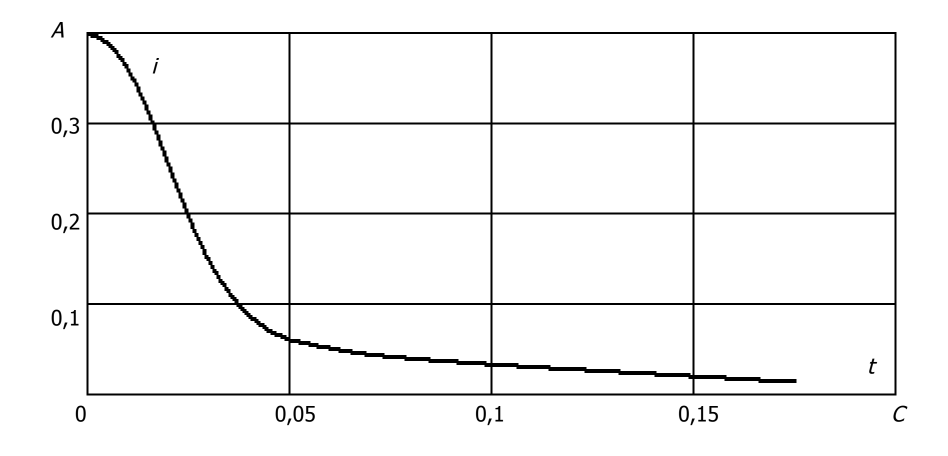


Рис. 8. Зависимость тока $i(t)$ для схемы включения $R(t)-R_0-C_0$

Заключение. Полученная математическая модель УЭХС успешно может быть использована для расчёта переходных процессов в линейных и нелинейных схемах, содержащих этот элемент. В большинстве случаев, даже для линейных схем, эта задача решается только численно.

Библиографический список

1. Дамаскин, Б. Б. Электрохимия / Б. Б. Дамаскин, О. А. Петрий. — Москва: Высшая школа, 1987. — 296 с.

2. Нейман, Л. Р. Теоретические основы электротехники. Т. 1 / Л. Р. Нейман, К. С. Демирчян. — Ленинград: Энергоиздат, 1981. — 535 с.

Материал поступил в редакцию 13.01.2012.

References

1. Damaskin, B. B. E`lektroximiya / B. B. Damaskin, O. A. Petrij. — Moskva: Vy`sshaya shkola, 1987. — 296 s. — In Russian.

2. Nejman, L. R. Teoreticheskie osnovy` e`lektrotexniki. T. 1 / L. R. Nejman, K. S. Demirchyan. — Leningrad: E`nergoizdat, 1981. — 535 s. — In Russian.

MATHEMATICAL SIMULATION OF TRANSITION IN OUTPUT CIRCUIT OF CONTROLLABLE ELECTROCHEMICAL RESISTANCE

Y. Y. Gerasimenko, T. P. Skakunova, E. Y. Gerasimenko
(Don State Technical University)

The problem of getting the analytical dependence of the output value of the controllable electrochemical resistance (CER) on the control current is considered and solved. The mathematical simulation of the transient process in the CER output circuit involving linear inductance or linear permittance is carried out, too.
Keywords: *electric current density, electrochemical metal deposition, electrical resistance, conductivity, transient process, inductance, differential equation.*

УДК 539.374:621.787

Исследование контактных напряжений в процессе локального кольцевого упругопластического деформирования составного цилиндра

А. Н. Исаев, А. Р. Лебедев
(Донской государственный технический университет)

Рассмотрены особенности геометрии очага деформации и определены задачи конечно-элементного моделирования контактных напряжений в процессе упругопластического деформационного формообразования составного цилиндра методом дорнования отверстия.
Ключевые слова: *напряжённо-деформированное состояние, контактные напряжения, конечно-элементное моделирование.*

Введение. В приводах исполнительных механизмов металлорежущих станков, гидропрессов, сельскохозяйственных и строительно-дорожных машин широко используются силовые цилиндры, корпуса которых изготавливают из трубчатых заготовок. Для придания рабочим поверхностям корпусов специфических свойств по параметрам износостойкости, твёрдости, теплопроводности и др., в том числе за счёт использования разнородных материалов, целесообразно применять составные (многослойные) конструкции цилиндров. Составные цилиндры, полученные запрессовкой с некоторым натягом одной трубчатой заготовки в другую, обладают повышенной прочностью.

Наиболее эффективным методом сборки составных цилиндров является метод дорнования отверстия внутренней трубчатой заготовки, основанный на деформационном упругопластическом изменении диаметральных размеров соединения. После деформирования за счёт сил упругой разгрузки на контактной поверхности соединяемых заготовок образуется напряжение (контактное давление), соответствующее условиям образования соединения с достаточно большим натягом. Сборка составного цилиндра дорнованием не требует высокой исходной точности сопрягаемых поверхностей. Повышенная прочность корпуса обеспечивается дополнительными внутренними силами упругости, поэтому при одинаковых поперечных сечениях составной цилиндр допускает более высокие нагрузки по сравнению с монолитным. Дорнование позволяет достаточно просто изготовить многослойный цилиндр, отдельные слои которого выполнены из обычного трубного проката.

Особенности геометрии очага деформации при дорновании. Составной цилиндр выполняется путём деформационного соединения двух или более тонкостенных цилиндров. Тонкостенность исходных заготовок позволяет отнести получаемый цилиндр к телам типа «оболочки вращения». Очаг деформации, образующийся в процессе локально-кольцевого упругопластического формообразования составного цилиндра, условно можно представить неразрывной последовательностью плавно сопряжённых упругих и упругопластических участков (рис. 1) [1]. Средний участок контактирует с инструментом, его напряжённое состояние характеризуется как объёмное. Остальные участки — неконтактные, находятся в упругом или упругопластическом состоянии. Инструментом деформирования является дорн, его кольцевая форма ограничена передним (заборным) и задним конусами, разделён-

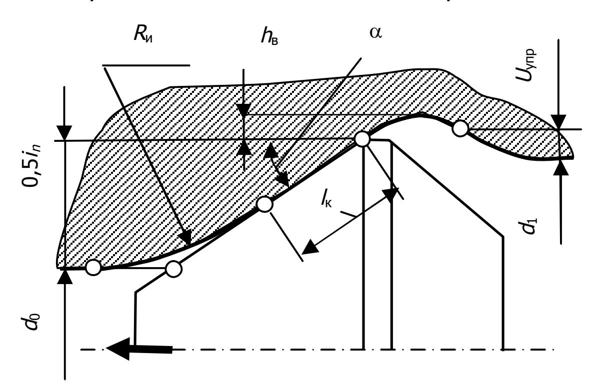


Рис. 1. Схема очага деформации трубчатой заготовки при дорновании отверстия

ными цилиндрический ленточкой. Диаметр отверстия d_0 изменяется благодаря раздаче цилиндра дорном на величину натяга $i_п$. Заборный конус дорна выполнен под углом α. Внеконтактные части очага деформации в продольном сечении, передняя и задняя, имеют форму, приближённо описываемую дугой окружности радиуса $R_и$. Позади цилиндрической ленточки дорна образуется волна высотой $h_в$. Контактная часть ограничена участком шириной $l_к$. Окончательный размер отверстия d_1 после прохода дорна зависит от высоты волны $h_в$ и упругой разгрузки $2U_{упр}$.

Известные аналитические методы определения напряжений, сил и деформаций обрабатываемого дорнованием цилиндра [2], [3] и др. построены в предположении, что направления главных напряжений и деформаций совпадают с его координатными осями, что позволяет не учитывать касательные напряжения и существенно упростить способ решения задачи. Естественно, что аналитические зависимости недостаточно полно отражают особенности процесса формирования составного цилиндра, их практическое использование не всегда эффективно. В этой связи применение методов математического моделирования процесса дорнования отверстий на ЭВМ путём приближённого интегрирования дифференциальных уравнений, описывающих состояние материала под воздействием локальной кольцевой нагрузки, позволяют существенно сократить материальные затраты на проведение экспериментальных исследований.

Задачи исследования процесса дорнования методом конечных элементов (МКЭ). Задачи анализа деформационного процесса формообразования составных оболочек вращения локально-кольцевым упругопластическим деформированием с применением МКЭ применительно к дорнованию целесообразно рассматривать поэтапно в следующей последовательности [4]:

1) идентификация задачи и выбор пути решения;
2) создание трёхмерной модели соединения;
3) разбиение модели на конечные элементы;
4) описание граничных условий, определяющих условия закрепления модели на границах и (или) граничные нагрузки;
5) численное решение системы уравнений;
6) анализ результатов.

На каждом из перечисленных этапов необходимо определить возможности применения МКЭ для решения задачи моделирования деформационного процесса формообразования составных цилиндров.

Общая характеристика задачи. Главная проблема контактной задачи применительно к процессу дорнования заключается в том, что истинная контактная зона до решения задачи неизвестна, так как её параметры зависят от нагрузок, свойств материала, граничных условий и других факторов. Контактируемые поверхности могут входить в контакт друг с другом и выходить из него внезапно и непредсказуемо. Задача многосвязного контакта обусловливает учёт взаимного влияния контактных поверхностей деталей.

Получение общего решения, определяющего напряжённо-деформированное состояние деталей в процессе локально-кольцевого деформирования, справедливого для упругих и упругопластических зон деформаций, с учётом контактных взаимодействий приводит к физическим нелинейным соотношениям. Нелинейная связь напряжений с деформациями является обычной причиной нелинейного поведения конструкции. Для расчёта нелинейных задач используется метод Ньютона — Рафсона [5], основанный на разделении нагрузки на серию элементарных приращений. Для улучшения сходимости задачи могут применяться различные методы, такие как поиск на линии, автоматическое назначение шага нагрузки и деление его пополам. Если сходимость не может быть достигнута, проводится расчёт с уменьшенным приращением нагрузки.

Разработка геометрической модели. Геометрическая модель, в зависимости от типа задачи, разбивается на осесимметричные или объёмные конечные элементы (рис. 2). Для повышения

точности расчёта используются элементы второго порядка. В предполагаемых зонах концентраций напряжений и их градиентов (контактные зоны и торцевые участки деталей) производится сгущение конечно-элементной сетки. Особенностью расчёта МКЭ является необходимость использования для промежуточных деталей с целью корректной передачи нагрузок от охватывающей детали к охватываемой и обратно минимум тройного слоя конечных элементов. Контактное взаимодействие может определяться с помощью контактных пар, состоящих из контактных конечных элементов соответствующего основным элементам порядка.

Наличие натягов в составных оболочках вращения обусловливает возникновение узловых сил. В собранном состоянии соединение находится в равновесии (сумма всех действующих внутри соединения сил равна нулю). Это касается и зон контакта.

В рамках решаемой задачи граничные условия — это только условия симметрии, т. е. подразумевается статическая задача теории прочности без приложения внешних нагрузок.

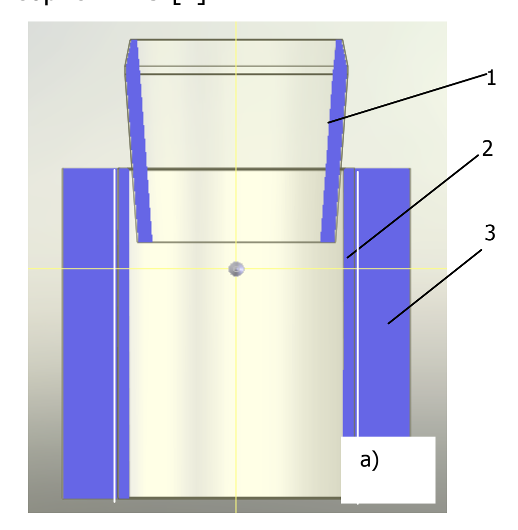
Представив составную оболочку вращения в виде охватываемой (внешний элемент составной оболочки вращения — обойма), промежуточной (внутренний элемент составной оболочки вращения — втулка) и охватывающей (инструмент — инструмент) деталей, получим систему трёх линейных уравнений:

$$\left.\begin{aligned}[K_1]\{X_1\}&=\{P_1\}\\ [K_2]\{X_2\}&=\{P_2\}\\ [K_3]\{X_3\}&=\{P_3\}\end{aligned}\right\}, \tag{1}$$

где $[K]$ — матрица коэффициентов жёсткости детали; $\{X\}$ — перемещения узлов сетки конечных элементов; $\{P\}$ — поверхностные и объёмные силы, действующие в узлах сетки; индекс 1 соответствует охватываемой детали, 2 — промежуточной, 3 — охватывающей.

Получить общее решение системы (1) сложно, поэтому реализуется следующий алгоритм определения контактных давлений в составных оболочках вращения, в котором контактные зоны рассматриваются по отдельности, но во взаимной связи. Выделим контактную зону *1* (инструмент — втулка) и контактную зону *2* (втулка — обойма).

Начальные матрицы жёсткости деталей $[K_1]$, $[K_2]$ и $[K_3]$ формируются в соответствии с теорией МКЭ [4].



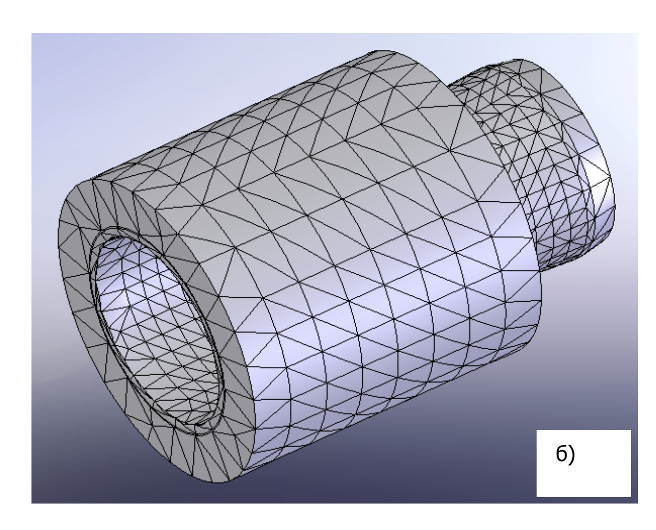


Рис. 2. Конечно-элементная модель формирования составных оболочек вращения с объемными тетраэдральными элементами: а — схема размещения элементов в составных оболочках вращения (1 — инструмент, 2 — втулка, 3 — обойма); б — конечно-элементная сетка в модели

Построение модели. Для построения модели процесса дорнования отверстий деталей многослойного соединения использовалось программное обеспечение Ansys-V12. Исследуемая модель выбрана в виде трёх тел — втулки, обоймы и движущегося со скоростью V дорна. В качестве исходных параметров были приняты: d_0, D_0, L — внутренний и наружный диаметры и длина втулки; d_1, D_1, L — внутренний и наружный диаметры и длина обоймы; $d_д$, $L_д$, α — диаметр, длина и угол рабочего (заборного) конуса дорна; $\lambda = i / d_0$ — относительный натяг дорнования ($i = d_д - d_0$).

При разбиении твёрдых тел на КЭ использовались следующие типы элементов: для цилиндра — *solid 164*, для дорна *shell 163*. Элемент *solid 164* имеет вид параллелепипеда и описывается восемью точками (узлами), степенями свободы которых выбраны перемещение, скорость и ускорение узлов по осям *X*, *Y*, *Z*. Элемент *Shell 163* — четырёхузловой, имеющий названные степени свободы по осям *X*, *Y*, *Z* и вращения вокруг узлов в плоскостях *XY*, *YZ*, *XZ*. Оптимальная длина граней элементов (1 мм) установлена по критерию минимизации необходимых системных ресурсов ЭВМ, удовлетворяющих условиям получения приемлемого результата.

Исследования процесса дорнования проводились для цилиндров из стали 45 со следующими линейными свойствами: плотность — 7800 кг/м^3; модуль продольной упругости — $2 \cdot 10^5$ МПа; коэффициент Пуассона — 0,3; предел прочности при растяжении — 610 МПа; предел текучести — 360 МПа. Упрочнение материала в процессе пластической деформации учитывалось путём ввода пяти наиболее характерных точек зависимости $\sigma_i = f(\varepsilon_i)$, соответствующей кривой упрочнения стали 45 [2]. Модуль упругости E твердосплавного дорна составляет 0,45—0,55 ГПа, что примерно в 2,5 раза выше, чем у материала детали. Поэтому считаем дорн абсолютно твёрдым телом, не испытывающим внутренних напряжений и деформаций. Параметры перемещения дорна и граничные условия для детали определены запретом перемещения одного из торцов заготовки вдоль оси *Z*, а для дорна — запретом перемещения по всем осям, кроме *Z*. Задача является осесимметричной, поэтому достаточно исследовать лишь четверть модели в продольном направлении, что позволяет сократить время решения дифференциальных уравнений и системные ресурсы вычислительной техники. Но в этом случае необходимо наложить условия симметричности на поверхности, полученные в результате разреза.

При определении «контактных пар» необходимо задавать коэффициенты трения поверхностей дорна и отверстия втулки, наружной поверхности втулки и внутренней поверхности обоймы.

Результаты исследований. В результате расчёта получены значения деформаций, напряжений, контактных давлений в любой точке построенной модели в любой момент времени в процессе и после дорнования (рис. 3). Это даёт возможность в динамике наблюдать за процессами, протекающими в материале детали.

Проведён численный эксперимент по исследованию рабочих, остаточных контактных давлений, геометрии очага деформации при сборке многослойного соединения.

Целевые параметры исследований: P_1 — рабочее давление в соединении дорн — втулка (дорн в средней части соединения), МПа; P_2 — рабочее давление в соединении втулка — обойма, МПа; P_3 — остаточное давление в соединении обойма — втулка (дорн вышел из отверстия), МПа; P_4 — длина контакта дорн — втулка, мм; P_5 — остаточный диаметр отверстия втулки, мм.

Варьируемые параметры исследований: λ — относительный натяг дорнования; $m_{вт}$ — относительная толщина стенки втулки; $m_{об}$ — относительная толщина стенки обоймы.

По данным моделирования проведён факторный анализ, результаты которого признаны удовлетворительными (см. табл. 1).

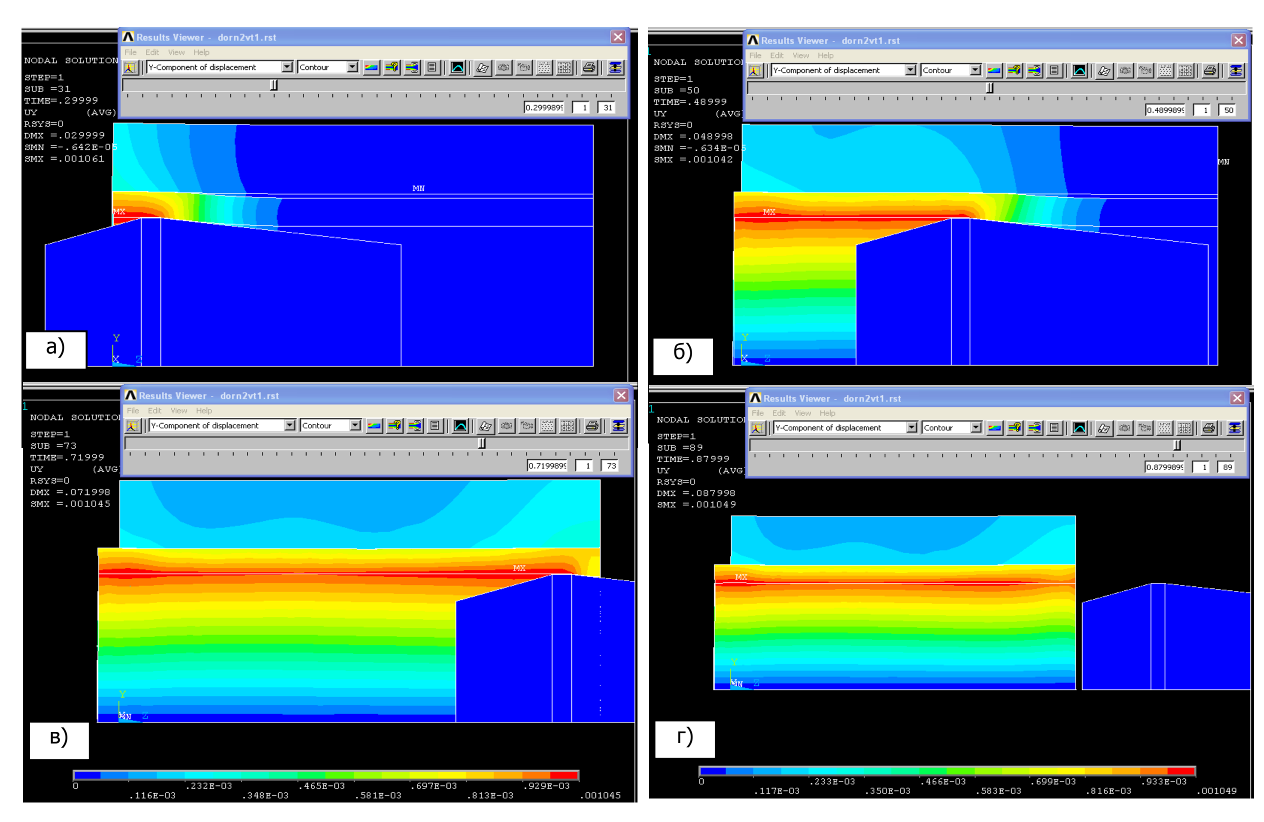


Рис. 3. Моделирование процесса дорнования многослойного соединения на различных этапах: а — при заходе дорна; б — дорн в средней части соединения; в — конечный этап деформирования; г — при выходе дорна — снятие нагрузки

Таблица 1

Анализ регрессионных зависимостей

Коэффициенты модели	Целевые параметры исследований									
	P_1		P_2		P_3		P_4		P_5	
	Коэф.	Зн.[1]	Коэф.	Зн.	Коэф.	Зн.	Коэф.	Зн.	Коэф.	Зн.
B_0	657,4	+	468	+	31,6	+	5,96	+	33,7	+
$B_1\lambda$	−191	–	−105,6	+	13,8	+	5,12	+	1,12	+
$B_2m_{вт}$	−4,81	+	−36,9	+	5,34	+	0,17	–	0,06	–
$B_3m_{об}$	−4,48	–	91,3	+	3,95	+	0,52	+	0,08	+
$B_4\lambda m_{вт}$	7,39	–	−4,1	–	2,82	–	−0,58	+	0,048	–
$B_5\lambda m_{об}$	−28,2	–	−33,6	+	1,7	–	−0,41	–	0,042	–
$B_6m_{вт}m_{об}$	18,8	+	50,1	+	−6	+	−0,46	–	−0,196	+
$B_7\lambda m_{вт}m_{об}$	2,88	+	10,4	–	−5,85	+	−0,53	–	−0,13	+
Адекватность[2] Ft=1,67	Fr= 4,1 Адекватна		Fr= 9,1 Адекватна		Fr= 3,92 Адекватна		Fr= 6,9 Адекватна		Fr= 14,3 Адекватна	

Заключение. Моделирование даёт возможность исследовать напряжённо-деформированное состояние многослойного соединения как во время проведения процесса дорнования, так и после прохода инструмента.

Перечень регистрируемых параметров НДС в узлах элементов:

– смещения по осям X, Y, Z (u_x, u_y, u_z);

[1] Значимость коэффициентов оценивалась по критерию Стьюдента для $P = 0,95$.
[2] Оценки адекватности и значимости проведены для вероятности $P = 0,95$.

– компоненты суммарных деформаций (ε_X, ε_Y, ε_Z, γ_X, γ_Y, γ_Z);

– компоненты упругих деформаций (ε_{yX}, ε_{yY}, ε_{yZ}, γ_{yX}, γ_{yY}, γ_{yZ});

– компоненты пластических деформаций ($\varepsilon_{пX}$, $\varepsilon_{пY}$, $\varepsilon_{пZ}$, $\gamma_{пX}$, $\gamma_{пY}$, $\gamma_{пZ}$);

– интенсивность деформаций ε_I;

– компоненты напряжений деформаций ($\sigma_{пX}$, $\sigma_{пY}$, $\sigma_{пZ}$, $\tau_{пX}$, $\tau_{пY}$, $\tau_{пZ}$);

– интенсивность напряжений σ_i.

Следует отметить, что при снятии нагрузки, то есть при выходе дорна из отверстия многослойного соединения регистрируются параметры остаточных напряжений и деформаций.

Кроме этого, анализ получаемых результатов позволяет определять важные технологические параметры процесса дорнования, которые аналитически и экспериментально трудно или невозможно установить. К ним относятся: длина контакта дорна с втулкой, мм; радиус изгиба продольного сечения втулки, мм; высота волны внеконтактной деформации, мм; рабочее давление в зоне контакта дорна и втулки, МПа; рабочее и остаточное давление в зоне контакта втулки и обоймы, МПа.

Полученная модель открывает широкие возможности для проведения дальнейших исследований по следующим направлениям:

– моделирование многозубого дорнования с оптимизацией распределения натягов на зубьях и их осевого расположения;

– моделирование процессов сборки многослойных соединений с применением свёрнутых втулок со специальными свойствами;

– моделирование процессов сборки многослойных соединений с применением проволочных наполнителей со специальными свойствами;

– моделирование процессов сборки не осесимметричных многослойных соединений;

– моделирование процессов сборки многослойных соединений для обоймы с произвольным наружным контуром.

Библиографический список

1. Исаев, А. Н. Геометрия очага деформации при локально-кольцевой раздаче пустотелого цилиндра методом дорнования / А. Н. Исаев, А. Р. Лебедев // Математические методы в технике и технологиях: сб. трудов XXIII междунар. науч. конф. — Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2010. — Т. 5. — С. 153—156.

2. Безухов, Н. И. Приложение методов теории упругости и пластичности к решению инженерных задач / Н. И. Безухов, О. В. Лужин. — Москва: Высшая школа, 1974. — 200 с.

3. Ильюшин, А. А. Упругопластические деформации полых цилиндров / А. А. Ильюшин, П. М. Огибалов. — Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1960. — 224 с.

4. Зенкевич, О. Конечные элементы и аппроксимация / О. Зенкевич, К. Морган. — Москва: Мир, 1986. — 318 с.

5. Митчелл, Э. Метод конечных элементов для уравнений с частными производными / Э. Митчелл, Р. Уэйт. — Москва: Мир, 1981. — 185 с.

6. Зайдес, С. А. Технологическая механика осесимметричного деформирования / С. А. Зайдес, А. Н. Исаев. — Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. — 432 с.

Материал поступил в редакцию 16.01.2012.

References

1. Isaev, A. N. Geometriya ochaga deformacii pri lokal`no-kol`cevoj razdache pustotelogo cilindra metodom dornovaniya / A. N. Isaev, A. R. Lebedev // Matematicheskie metody` v texnike i

texnologiyax: sb. trudov XXIII mezhdunar. nauch. konf. — Saratov: Sarat. gos. texn. un-t, 2010. — T. 5. — S. 153—156. — In Russian.

2. Bezuxov, N. I. Prilozhenie metodov teorii uprugosti i plastichnosti k resheniyu inzhenerny`x zadach / N. I. Bezuxov, O. V. Luzhin. — Moskva: Vy`sshaya shkola, 1974. — 200 s. — In Russian.

3. Il`yushin, A. A. Uprugoplasticheskie deformacii poly`x cilindrov / A. A. Il`yushin, P. M. Ogibalov. — Moskva: Izd-vo Mosk. un-ta, 1960. — 224 s. — In Russian.

4. Zenkevich, O. Konechny`e e`lementy` i approksimaciya / O. Zenkevich, K. Morgan. — Moskva: Mir, 1986. — 318 s. — In Russian.

5. Mitchell, E`. Metod konechny`x e`lementov dlya uravnenij s chastny`mi proizvodny`mi / E`. Mitchell, R. Ue`jt. — Moskva: Mir, 1981. — 185 s. — In Russian.

6. Zajdes, S. A. Texnologicheskaya mexanika osesimmetrichnogo deformirovaniya / S. A. Zajdes, A. N. Isaev. — Irkutsk: Izd-vo IrGTU, 2007. — 432 s. — In Russian.

CONTACT VOLTAGE STUDY UNDER LOCAL RING ELASTOPLASTIC DEFORMATION OF COMPOSITE CYLINDER

A. N. Isayev, A. R. Lebedev
(Don State Technical University)

The deformation zone geometry properties are considered. The finite-element simulation tasks for contact voltages under elastoplastic strain shaping of the composite cylinder by the hole mandrelling technique are determined.
Keywords: *strain-stress state, contact voltages, finite-element simulation.*

УДК 621.791.754

Расчёт скорости плавления предварительно нагретых проволок различного химического состава при дуговой сварке

Е. Н. Варуха, А. С. Коробцов
(Донской государственный технический университет),
И. С. Морозкин
(Ростовский государственный университет путей сообщения)

Для эмпирической формулы, позволяющей рассчитывать скорость плавления (подачи) сварочной проволоки в широком диапазоне токов, температур предварительного подогрева, диаметров и вылетов электрода при сварке в углекислом газе на токе обратной полярности, получены зависимости эмпирических коэффициентов от параметров процесса для сварочных проволок различного химического состава. Проведена сравнительная оценка точности вычислений по эмпирической формуле и по известной численной модели плавления тех же сварочных проволок. Выполнена оценка влияния увеличения вылета и температуры предварительного подогрева сварочных проволок на возможности повышения производительности их расплавления.
Ключевые слова: *сварка, плавящийся электрод, углекислый газ, обратная полярность, подогрев проволоки, эмпирическая формула, расчёт скорости плавления проволок разных марок, точность вычислений, повышение производительности расплавления проволок.*

Введение. В работе [1] получена эмпирическая формула (1), позволяющая рассчитывать скорость плавления (подачи) V предварительно нагретой сварочной проволоки Св-08Г2С, подаваемой в зону дуги при сварке в углекислом газе на токе обратной полярности.

$$V = \left\{\left[\left(U_м + U'_{аэф}\right) / \Delta H - A + \left(k_к / \Delta H - B\right) \cdot I / d_э\right] \cdot I \cdot \exp\left(-\theta h / d_э\right) + \left(AI + BI^2 / d_э + CI^2 h / d_э^2\right)\right\}, \quad (1)$$

где I, $d_э$ и h — ток сварки, диаметр и вылет проволоки; $U_м$ — часть падения напряжения в контакте «токоподводящий наконечник — проволока», определяющая тепловой поток в сварочную проволоку, В; $U'_{аэф}$ — часть эффективного анодного падания напряжения $U_{аэф}$, определяющая мощность, которая идёт на нагрев электродного металла от максимальной температуры вылета, получаемой при нагреве проходящим током, до температуры отделяющейся от электрода капли, принятой в работе [2] постоянной, В; $k_к$ — среднее удельное сопротивление капли расплавленного металла за цикл её формирования на конце вылета проволоки [2], Ом·м.

Энтальпия ΔH определяется в соответствии с уравнением:

$$\Delta H = H_{пл} - H_п + k_2 - H_L, \quad (2)$$

где $H_{пл}$ — энтальпия жидкого электродного металла при температуре плавления, кДж/кг; H_L — скрытая теплота плавления, кДж/кг; k_2 — приращение энтальпии, определяемое нагревом электродного металла от температуры плавления до температуры отделяющейся от электрода капли, а также на потери тепла с поверхности капли на испарение, излучение и конвекцию, кДж/кг.

Энтальпия металла проволоки $H_п$, определяемая её предварительным подогревом, может быть вычислена по формуле:

$$H_п = c_{ср} \cdot T_п, \quad (3)$$

где $c_{ср}$ — средняя удельная теплоёмкость электродного металла в интервале температур от 0 °С до температуры подогрева проволоки $T_п$, Дж/(кг·°С).

Априорно величины эмпирических коэффициентов *A*, *B*, *C*, θ в (1) зависят от химсостава сварочной проволоки. Однако до настоящего времени они были определены только для кремнемарганцовистой проволоки марки Св-08Г2С [1].

Практический интерес к расчётам скорости плавления вызван тем, что проволока Св-06Х19Н9Т может применяться как для сварки в углекислом газе, так и в его смесях с другими защитными газами. А проволока Св-08 широко используется для сварки под кислыми флюсами (типа АН-348), когда состав расплавляемой поверхности проволоки, контактирующей в газовом пузыре с дугой, по-видимому, близок по составу расплавляемой дугой поверхности проволоки Св-08Г2С. Обоснованность такого предположения подкрепляется тем, что низкоуглеродистая проволока, проходя в газовый пузырь через расплавленный флюс, смачивается его кремниевыми и марганцевыми компонентами. Таким образом, следует ожидать, что нагрев дугой металла проволоки Св-08 будет таким же, как у проволоки Св-08Г2С, а различия в скоростях плавления этих проволок будут наблюдаться из-за различий их нагрева проходящим по вылету током, определяемых меньшим удельным сопротивлением низкоуглеродистой стали, чем у кремнемарганцовистой [3].

Поэтому целью настоящей работы явилось установление вида функциональной зависимости эмпирических коэффициентов в (1) для высоколегированной и низкоуглеродистой сварочных проволок марок Св-06Х19Н9Т и Св-08 от температуры предварительного подогрева, и определение величины коэффициентов, входящих в соответствующие функции. А также сравнение полученных эмпирических коэффициентов с коэффициентами для проволоки Св-08Г2С.

Исходные данные и методы их обработки. Для определения исследуемых в настоящей работе зависимостей в качестве исходных данных были использованы данные расчётов скоростей подачи *V*, полученные в работе [4] по численной модели зависимости $V = f(I, d_э, h)$ для сварочных проволок Св-08Г2С, Св-06Х19Н9Т и Св-08. Точность расчётных значений скоростей подачи предварительно нагретых проволок, полученных по численной модели, подтверждается экспериментальными данными работы [4].

Для обработки данных численной модели использовалась компьютерная программа Statistica, с помощью которой для параметров уравнения (1) были получены полиномы (4) — (9) и затем, при использовании метода наименьших квадратов, определены входящие в них коэффициенты с доверительным интервалом 0,95.

Расчёты проводились для диапазона температур подогрева сварочных проволок перед входом в токоподводящий наконечник от 20 до 600 °С. В пределах выбранного диапазона температур сварочная проволока имеет достаточную упругость для обеспечения её непрерывной и равномерной подачи через токоподводящий наконечник в процессе сварки. При большей температуре проволока теряет упругие свойства, становится пластичной и её подача через наконечник становится практически невозможной.

Расчёты проводились для токов сварки от 150 до 500 А и вылетов проволоки от 1 мм до $h = h_{\max}$, при котором происходит нарушение устойчивого плавления проволоки, обусловленное её нагревом проходящим током до температуры плавления [4].

Результаты исследований. Установлено, что параметры $U_м$ и $c_{ср}$ для проволок Св-08 и Св-06Х19Н9Т в зависимости от температуры $T_п$ могут быть описаны полиномами второй степени (4) и (5) с величиной входящих в них коэффициентов, приведённых в табл. 1.

$$U_м = u_1 + u_2 T_п + u_3 T_п^2, \tag{4}$$

$$c_{ср} = c_1 + c_2 T_п + c_3 T_п^2. \tag{5}$$

Таблица 1

Величина коэффициентов, входящих в уравнения (4), (5), для проволок разных марок

Коэффициент	Величина коэффициента		
	Св-08	Св-08Г2С [1]	Св-06Х19Н9Т
u_1, В	0,3874	0,3016	0,1031
$u_2 \cdot 10^5$, В/°С	−20	−3,897	2,3147
$u_3 \cdot 10^6$, В/°С^2	−1,4101	−1,404	−0,5584
c_1, кДж/(кг·°С)	0,4714	0,4490	0,4549
$c_2 \cdot 10^4$, кДж/(кг·°С^2)	1	2	2
$c_3 \cdot 10^7$, кДж/(кг·°С^3)	1,4453	0	−1,5563

Используя значения коэффициентов, приведённых в табл. 1 для проволок Св-08 и Св-06Х19Н9Т, и величины физических констант, полученные по методикам работы [4] или принятые по данным работ [5, 6] (табл. 2), по (1) были определены виды полиномов (6) — (9), описывающие зависимости эмпирических коэффициентов A, B, C, θ от температуры $T_п$, и величины входящих в эти полиномы коэффициентов (табл. 3).

Таблица 2

Величина констант, входящих в уравнения (1), (2), для проволок разных марок

Константа	Величина константы		
	Св-08	Св-08Г2С	Св-06Х19Н9Т
$H_{пл}$, кДж/кг	1367,5	1383,0	1175,8
H_L, кДж/кг	270,4		283,3
$U'_{аэф}$, В	4,67		4,73
$k_к \cdot 10^6$, Ом·м	4,69		5,0
k_2, кДж/кг	858,3	858,0	928,2

Таблица 3

Величина коэффициентов, входящих в уравнения (6) — (9), для проволок разных марок и разных диапазонов температур их подогрева

Коэффициент	Величина коэффициента для диапазона температур подогрева проволоки					
	Св-08		Св-08Г2С [1]		Св-06Х19Н9Т	
	0—450 °С	450—600 °С	0—450 °С	450—600 °С	0—450 °С	450—600 °С
$n_1 \cdot 10^6$, кг/(А·с)	2,417	1,763	2,400	1,934	2,509	2,330
$n_2 \cdot 10^{10}$, кг/(А·с·°С)	4,000	1,800	6,100	1,510	9,000	1,300
$n_3 \cdot 10^{13}$, кг/(А·с·°С^2)	−2,074	0	−2,700	0	0	0
$n_4 \cdot 10^{12}$, кгм/(А^2·с)	1,843		1,995		2,204	
$n_5 \cdot 10^{15}$, кгм/(А^2·с·°С)	1,600		1,400		1,400	
$n_6 \cdot 10^{13}$, кгм/(А^2·с)	5,518		6,450		8,1018	
$n_7 \cdot 10^{16}$, кгм/(А^2·с·°С)	5,600		4,180		4,000	
n_8	0,765		0,465		0,284	
$n_9 \cdot 10^3$	2,000		1,260		0,200	

$$A = n_1 + n_2 T_п + n_3 T_п^2, \quad (6)$$

$$B = n_4 + n_5 T_п, \quad (7)$$

$$C = n_6 + n_7 T_п, \quad (8)$$

$$\theta = n_8 + n_9 T_п. \quad (9)$$

Причём между эмпирическими коэффициентами A, B, C, θ и температурой $T_п$ существуют функциональные связи, так как величина соответствующих коэффициентов множественной корреляции была во всех случаях больше 0,9999.

Как следует из формул (7) — (9) и данных табл. 3, эмпирические коэффициенты *B*, *C*, θ для всех проволок имеют монотонную линейную зависимость от температуры $T_п$ во всём диапазоне температур подогрева. В отличие от этого, зависимости эмпирического коэффициента *A* имеют точку перелома графика функции при температуре $T_п$ = 450 °С, когда параметр $U_м$ становится равным нулю [1].

При этом для всех проволок зависимость коэффициента *A* в диапазоне температур подогрева $T_п$ от 450 до 600 °С описывается линейным полиномом, а для проволок Св-08 и Св-08Г2С в диапазоне температур подогрева от 0 до 450 °С она наилучшим образом описывается квадратичным полиномом. Исключение составляет проволока Св-06Х19Н9Т, для которой коэффициент *A* в диапазоне температур подогрева от 0 до 450 °С также имеет линейную зависимость от $T_п$, но с другим углом наклона графика функции, чем в диапазоне от 450 до 600 °С.

Используя установленные в настоящей работе зависимости, по (1) были проведены расчёты скорости плавления исследованных сварочных проволок, отдельные результаты которых представлены на рис. 1, *а*, *б*. Наблюдается высокая сходимость расчётных данных с величинами, полученными по численной модели $V = f(I, d_э, h)$. В самом общем случае при вылетах проволоки $h \geq 6$ мм их расхождение не превышает ±1,5 %. Сварка на меньших вылетах практически не применятся, т. к. при этом возможно перебрасывание дуги на токоподводящий наконечник и его оплавление.

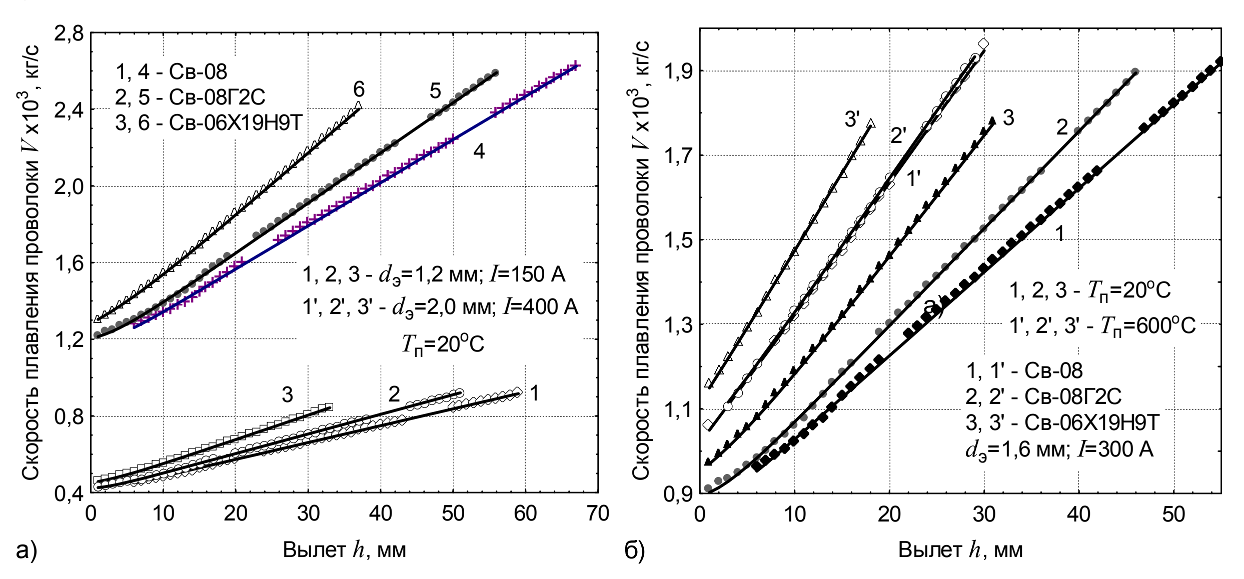


Рис. 1. Зависимости скоростей плавления проволоки от вылета: а — для различных диаметров проволок и токов сварки; б — температуры предварительного подогрева

Для рассмотренных сварочных проволок зависимость скорости их плавления от величины вылета в пределах его изменения от 10 мм до h_{max} практически линейная, рис. 1, *а*, *б*. При меньших вылетах линейность нарушается. Причём чем больше удельное сопротивление металла проволоки, тем при меньших вылетах наступает нарушение линейности.

Проволокам с большим удельным сопротивлением соответствуют большие скорости плавления при одних и тех же вылетах, рис. 1, *а*, что обусловлено большим их нагревом проходящим током.

Полученные расчётные данные позволяют также провести сравнение эффективности предварительного подогрева и увеличения вылета проволоки на повышение производительности (скорости) её расплавления при постоянной величине тока сварки. Как следует из анализа всего

комплекса расчётных данных и в полной мере иллюстрируется графиками на рис. 1, *б*, максимальная производительность расплавления проволоки наблюдается при $h = h_{max}$.

Этому условию с достаточной степенью точности соответствуют крайние верхние точки на кривых 1—3 и 1'—3' на рис. 1, *б*. При этом величина максимальной производительности расплавления для каждой конкретной проволоки есть величина постоянная и не зависит от температуры $T_п$, что подтверждается данными работы [4]. Однако с ростом $T_п$ величина вылета h_{max}, на котором достигается максимальная производительность расплавления, смещается в область меньших значений.

Предварительный подогрев проволоки сужает диапазон варьирования производительностью её расплавления. Например, в отсутствие нагрева проволоки при изменениях вылета от 10 мм до h_{max}, но неизменной величине тока сварки, возможно увеличение скорости плавления для проволоки Св-08 примерно на 90 %, для Св-08Г2С — на 80 % и для Св-06Х19Н9Т — на 51 %. А при предварительном нагреве проволок до 600°С для тех же условий возможное увеличение скорости их плавления примерно составляет: для Св-08 — 48 %, для Св-08Г2С — 45 %, для Св-06Х19Н9Т — 20 %. Очевидно, что при уменьшении температуры предварительного подогрева проволоки диапазон варьирования производительностью её расплавления увеличивается.

Таким образом, при неизменном токе сварки регулирование производительности расплавления за счёт изменения вылета ненагретой проволоки имеет определённые преимущества над регулированием за счёт предварительного подогрева сварочной проволоки. Однако сварка на увеличенных вылетах затрудняется тем, что осложняется позиционирование конца проволоки над местом сварки и наблюдается повышенный расход защитного газа через сопло, располагающееся на значительном расстоянии от поверхности изделия. Избавиться от этих недостатков возможно, если осуществлять токоподвод к проволоке через наконечник, расположенный внутри ствола горелки, а на конце ствола установить изолированный направляющий наконечник, который вместе с соплом горелки будет располагаться на обычном для сварки расстоянии до поверхности изделия.

Пока единственным видимым преимуществом сварки с предварительного подогрева проволоки над сваркой с увеличенным вылетом является то, что процесс можно вести на обычных вылетах. Но наиболее приемлемая схема реализации предварительного подогрева проволоки при сварке предусматривает усложнение конструкции сварочной горелки за счёт размещения в ней двух разнесённых токоподводящих наконечников, между которыми осуществляется подогрев проволоки от отдельного дополнительного источника питания, что, в свою очередь, удорожает процесс сварки.

Учитывая указанные особенности, тем не менее можно отметить, что оба способа повышения производительности расплавления сварочной проволоки являются альтернативными и выбор в пользу одного из них будет определяться технологическими условиями производства, в которых на первый план будут выходить преимущества конкретного способа.

Выводы. Для известного эмпирического уравнения получены зависимости его эмпирических коэффициентов от температуры предварительного подогрева для сварочных проволок Св-08 и Св-06Х19Н9Т, позволяющие рассчитывать скорости их плавления с точностью, практически равной точности их вычисления по верифицированной численной модели плавления проволоки при сварке в углекислом газе на токе обратной полярности.

Диапазоны регулирования производительности расплавления ненагретых сварочных проволок Св-08, Св-08Г2С и Св-06Х19Н9Т за счёт увеличения вылета проволоки шире диапазонов, получаемых за счёт предварительного подогрева тех же проволок.

Библиографический список

1. Варуха, Е. Н. Расчёт скорости плавления предварительно нагретого электрода при сварке в углекислом газе / Е. Н. Варуха // Сварочное производство. — 2012. — № 2. — С. 15—19.

2. Варуха, Е. Н. Моделирование процесса нагрева и плавления электрода при механизированной сварке / Е. Н. Варуха, Р. Я. Докторский. — Ростов-на-Дону: Ростов. ин-т с.-х. машиностр., 1988. — 33 с.

3. Физические свойства сталей и сплавов, применяемых в энергетике. Справочник / под ред. Б. Е. Неймарк. — Москва; Ленинград: Энергия, 1967. — 471 с.

4. Варуха, Е. Н. Нагрев и плавление электрода при дуговой механизированной сварке: дис. … д-ра техн. наук: 05.03.06. — Ростов-на-Дону, 1998. — 294 с.

5. Сварка и свариваемые материалы. В 3 томах. Том 1. Свариваемость материалов. Справ. изд. / под ред. Э. Л. Макарова. — Москва: Металлургия, 1991. — 528 с.

6. Походня, И. К. Теплосодержание капель электродного металла при дуговой сварке в защитных газах / И. К. Походня, А. М. Суптель // Автоматическая сварка. — 1967. — № 2. — С. 13—18.

Материал поступил в редакцию 23.03.2012.

References

1. Varuxa, E. N. Raschyot skorosti plavleniya predvaritel`no nagretogo e`lektroda pri svarke v uglekislom gaze / E. N. Varuxa // Svarochnoe proizvodstvo. — 2012. — # 2. — S. 15—19. — In Russian.

2. Varuxa, E. N. Modelirovanie processa nagreva i plavleniya e`lektroda pri mexanizirovannoj svarke / E. N. Varuxa, R. Ya. Doktorskij. — Rostov-na-Donu: Rostov. in-t s.-x. mashinostr., 1988. — 33 s. — In Russian.

3. Fizicheskie svojstva stalej i splavov, primenyaemy`x v e`nergetike. Spravochnik / pod red. B. E. Nejmark. — Moskva; Leningrad: E`nergiya, 1967. — 471 s. — In Russian.

4. Varuxa, E. N. Nagrev i plavlenie e`lektroda pri dugovoj mexanizirovannoj svarke: dis. … d-ra texn. nauk: 05.03.06. — Rostov-na-Donu, 1998. — 294 s. — In Russian.

5. Svarka i svarivaemy`e materialy`. V 3 tomax. Tom 1. Svarivaemost` materialov. Sprav. izd. / pod red. E`. L. Makarova. — Moskva: Metallurgiya, 1991. — 528 s. — In Russian.

6. Poxodnya, I. K. Teplosoderzhanie kapel` e`lektrodnogo metalla pri dugovoj svarke v zashhitny`x gazax / I. K. Poxodnya, A. M. Suptel` // Avtomaticheskaya svarka. — 1967. — # 2. — S. 13—18. — In Russian.

MELTING RATE CALCULATION ON PREHEATED WIRES OF VARIOUS CHEMISTRY UNDER ARC WELDING

E. N. Varukha, A. S. Korobtsov
(Don State Technical University),
I. S. Morozkin
(Rostov State Transport University)

The empirical factors dependences on the process parameters for the welding wires of various chemistry are obtained for the empirical formula permitting to calculate the wire melting rate (feed) in a wide range of currents, preheat temperatures, electrode diameters, and stick-outs under the welding in carbon dioxide on the reversed polarity current. The calculation accuracy by the empirical formula and by the known computational melting model of the same wires is comparatively appraised. The effect of stick-out and preheat temperature increase of the welding wires on the productivity-boosting features of their melting is assessed.

Keywords: *welding, consumable electrode, carbon dioxide, reverse polarity, wire heating , empirical formula, melting rate calculation on wire of various chemistry, calculation accuracy, improvement of wire melting productivity.*

УДК 678.046:621.762

Ресурс покрытий из полимерных композитов при вибронагружении

В. А. Кохановский, В. В. Рубанов, С. И. Иванов
(Донской государственный технический университет)

Приводятся результаты экспериментальных исследований формирования ресурса трибосопряжений с покрытием из полимерных композитов вследствие ползучести и изнашивания при субкритическом вибронагружении.
Ключевые слова: *ползучесть, ресурс полимерных покрытий, вынужденная высокоэластичность.*

Введение. Основным эксплуатационным требованием к антифрикционным материалам является надёжное обеспечение ими требуемого ресурса трибосистемы, в который они входят. Ресурс узла трения при любом типе нагрузки, как правило, ограничивается величиной зазора в трибосопряжении.

Доказано [1, 2], что для металлополимерных узлов трения с антифрикционными покрытиями рассматриваемого класса увеличение зазора вызывают два процесса: изнашивание и вязкоупругая деформация при рабочих нагрузках — ползучесть. Рассмотрим эти процессы.

Следует отметить, что вибронагружение интенсифицирует как процесс ползучести, так и процесс изнашивания. Оба эти процесса зависят от температуры, генерируемой трением на поверхности и гистерезисными потерями в объёме композита от вибраций.

Методика. Экспериментальные исследования проводились на установке, обеспечивающей скорость скольжения в диапазоне 0,08—0,3 м/с, статическую нагрузку от 5 до 100 МПа и динамическое вибронагружение с частотой 0,6—1,5 Гц. Величина динамической нагрузки оценивалась коэффициентом динамичности цикла K_d, определяемым следующим соотношением:

$$K_d = \frac{\sigma_0 + \sigma_a}{\sigma_0}, \tag{1}$$

где σ_0 — среднее значение статических контактных нормальных напряжений, σ_a — амплитудное значение.

Величина коэффициента динамичности варьировалась в пределах 1,1—1,8.

Экспериментальные результаты. Статистическая обработка результатов реализации двухуровневого полнофакторного плана экспериментальных исследований позволила получить адекватную регрессионную модель зависимости полной установившейся вязкоупругой деформации антифрикционного покрытия от величин статического контактного нормального напряжения $\sigma_{ст}$ и коэффициента динамичности K_d:

$$\varepsilon = 0{,}0111 \cdot \sigma_{ст}^{0{,}749} \cdot K_d^{0{,}471}. \tag{2}$$

Погрешность модели (2) не превышает 2 %.

Учитывая толщину конкретного покрытия, например на основе тканого армирующего каркаса из полутораслойного неправильного шестиремизного атласа (0,55 мм), удобнее оперировать абсолютным значением деформации в мм. Модель (2) легко приводится к виду (3) с сохранением величины исходной погрешности:

$$\delta = 0{,}0051 \cdot \sigma_{ст}^{0{,}749} \cdot K_d^{0{,}471}. \tag{3}$$

Оценка вклада вязкоупругой деформации полимерного антифрикционного покрытия в формирование зазора трибосопряжения в исследованном диапазоне амплитуд сжимающих напряжений представлена графиком на рис. 1. Для толщины покрытия, равной 0,55 мм, величина зазора при амплитуде напряжений ±80 МПа может достигать 0,21…0,23 мм, что соизмеримо с

эксплуатационными допусками. Компенсация величины деформации выполняется сборкой трибосопряжения с преднатягом.

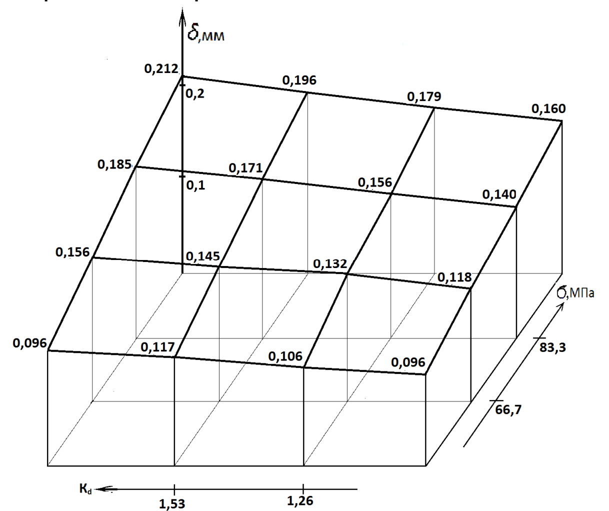


Рис. 1. Влияние статических напряжений и коэффициента динамичности на составляющую зазора в трибосопряжении

Таким образом, на основе экспериментальных исследований установлена величина вклада ползучести антифрикционного полимерного композита в формирование зазора трибосопряжения в условиях низкочастотной динамической нагрузки. Это позволяет уточнить расчёт ресурса металлополимерной пары трения и предложить меры по его увеличению.

Далее рассмотрим особенности процессов трения и изнашивания металлополимерных трибосистем с композиционным полимерным покрытием в условиях интенсивного статического и динамического нагружения.

Следует отметить, что экспериментальные исследования покрытий проводились при весьма высоких нагрузках и относительно низких скоростях скольжения, что соответствует эксплуатационному назначению фторопластсодержащих антифрикционных материалов данного класса.

Композиционная структура рассматриваемых антифрикционных покрытий формируется, в основном, типом переплетения нитей в ткани, являющейся армирующей компонентой композита.

Тип ткани определяет количество антифрикционных нитей на рабочей поверхности покрытия, его толщину и объём общего депо фторопласта (политетрафторэтилена). Толщина покрытия в значительной степени определяется адгезией матричного связующего к полимерным нитям, образующим ткань. Так, вывод на рабочую поверхность покрытия 100% фторопластовых нитей полифен, имеющих нулевую адгезию к связующему, образует «низкую» матрицу. При этом фенольное связующее во фторопластовом слое проникает лишь в межволоконные пустоты. Это обстоятельство способствует, с одной стороны, ускорению изнашивания, с другой — 100 % фторопластовый слой повышает износостойкость покрытия. Суммарное действие этих факторов определялось экспериментально.

При использовании полимерных композиционных покрытий в узлах трения главным основанием их выбора и применения является ресурс. Целесообразнее всего оценивать его в собственном времени трибосистемы, измеряемом количеством циклов нагружения. За один цикл нагружения мы считаем один оборот вала.

Модель для интерполяционных расчётов величины ресурса имеет вид:

$$R = 1{,}446\cdot10^{10}\,\sigma^{-4{,}03}V^{-1{,}773}K_d^{-1{,}412}, \qquad (4)$$

где R — ресурс в циклах нагружения (оборотах вала диаметром 14 мм), V — скорость скольжения.

Модель адекватна и обеспечивает интерполяционные расчёты с погрешностью в пределах 10 %. Её графическая интерпретация представлена на рис. 2.

Анализ модели (4) зависимости ресурса от режимов нагружения и графиков на рис. 2 показывает, что для повышения ресурса рассматриваемых покрытий самым эффективным является снижение статических контактных напряжений, наиболее интенсивно влияющих на износостойкость композита.

Следует отметить, что увеличение статической нагрузки при трении даже до 200 МПа [3] не вызывает такого нагрева, как вибронагружение, даже низкочастотное. Следствием высокой

температуры является возможный переход полимерного материала покрытия в состояние вынужденной высокоэластичности при одновременном термосиловом воздействии трения и вибраций.

Условием этого перехода для использованного матричного связующего является эмпирическая зависимость [2]

$$\sigma_1 = \sigma \cdot K_d < \sigma_{вв} = 1137{,}4 - 217{,}16T, \qquad (5)$$

где σ и σ_1 — статическое и суммарное контактные напряжения, МПа, $\sigma_{вв}$ — напряжение перехода материала покрытия в состояние вынужденной высокоэластичности при данном соотношении нагрузки и температуры, T — температура покрытия, 10^{-2} К.

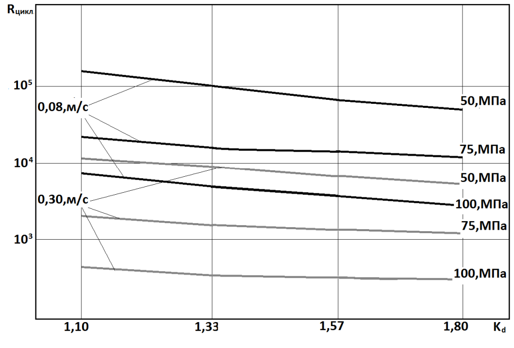


Рис. 2. Ресурс полимерного покрытия

Результаты расчётов перехода матрицы композита в состояние вынужденной высокоэластичности приведены в табл. 1. Критическое соотношение режимов термосилового нагружения, приводящее к переходу материала покрытия в высокоэластичное состояние, выделено.

Нужно подчеркнуть, что этот кинетический переход не приводит к мгновенному аварийному отказу трибосистемы, но значительно снижает её износостойкость и ресурс.

Таблица 1

Условие кинетического перехода материала покрытия в состояние высокоэластичности

V, м/с	K_d	1,10		1,33		1,57		1,80	
	σ, МПа	σ_1	$\sigma_{вв}$	σ_1	$\sigma_{вв}$	σ_1	$\sigma_{вв}$	σ_1	$\sigma_{вв}$
0,081	50	55,0	275,7	66,7	252,3	78,3	230,8	90	211,0
	75	82,5	221,2	100,0	192,9	117,5	167,1	135	143,4
	100	110	176,0	133,3	143,7	***156,7>***	***114,3***	***180>***	***87,4***
0,300	50	55,0	233,8	66,7	206,4	78,3	181,7	90	158,8
	75	82,5	170,8	100,0	137,8	***117,5>***	***108,1***	***135>***	***80,7***
	100	110	118,5	***133,3>***	***81,1***	***156,7>***	***47,0***	***180>***	***15,8***

Поскольку путь трения при одинаковой частоте вращения зависит от диаметра шейки вала, применение модели (4) для вала любого диаметра — *d* требует умножения правой части выражения на отношение 14/d.

Выводы. Исследования влияния критического уровня термосилового нагружения антифрикционных композиционных полимерных покрытий позволили выявить область перехода матрицы полимерного композита в состояние вынужденной высокоэластичности, что определяет режимы их рациональной эксплуатации.

Результаты антифрикционных экспериментальных исследований металлополимерных трибосистем с полимерными покрытиями в широком диапазоне их эксплуатационного вибронагружения позволили получить регрессионные модели для инженерных расчётов ползучести и ресурса в условиях низкочастотного вибронагружения.

Библиографический список

1. Уржумцев, Ю. С. Прогностика деформативности полимерных материалов / Ю. С. Уржумцев, Р. Д. Максимов. — Рига: Зинатне, 1975. — 416 с.

2. Кохановский, В. А. Предельное прочностное состояние антифрикционных самосмазывающихся волокнитов / В. А. Кохановский // Пластические массы. — 1990. — № 6. — С. 25—27.

3. Кохановский, В. А. Теплофизические свойства полимерных антифрикционных покрытий и режимы их нанесения / В. А. Кохановский, М. А. Мукутадзе // Пластические массы. — 2002. — № 12. — С. 44—45.

Материал поступил в редакцию 26.12.2011.

References

1. Urzhumcev, Yu. S. Prognostika deformativnosti polimerny`x materialov / Yu. S. Urzhumcev, R. D. Maksimov. — Riga: Zinatne, 1975. — 416 s. — In Russian.

2. Koxanovskij, V. A. Predel`noe prochnostnoe sostoyanie antifrikcionny`x samosmazy`vayu-shhixsya voloknitov / V. A. Koxanovskij // Plasticheskie massy`. — 1990. — № 6. — S. 25—27. — In Russian.

3. Koxanovskij, V. A. Teplofizicheskie svojstva polimerny`x antifrikcionny`x pokry`tij i rezhimy` ix naneseniya / V. A. Koxanovskij, M. A. Mukutadze // Plasticheskie massy`. — 2002. — № 12. — S. 44—45. — In Russian.

POLYMERIC COATING LIFE TIME UNDER VIBRO-LOADING

V. A. Kokhanovskiy, V. V. Rubanov, S. I. Ivanov
(Don State Technical University)

The field research on the tribocoupling resource generation with the polymer composite coating from creep and wear under the subcritical vibro-loading is resulted.
Keywords: *creep, life time of polymeric coatings, forced rubberlike elasticity.*

УДК 631.354.2

Анализ конфигурации валка хлебной массы в зоне подбора в зависимости от кинематического режима работы подборщика

О. Н. Лесняк, С. М. Красноступ
(Донской государственный технический университет),
А. Д. Азаров
(Научно-исследовательский институт механики и прикладной математики им. И. И. Воровича Южного федерального университета)

Описана модель валка в виде цепной линии. Проведён анализ зависимости конфигурации валка от технологического процесса работы полотняно-транспортёрного подборщика.
Ключевые слова: *валок, цепная линия, полотняно-транспортёрный подборщик.*

Введение. В настоящее время проведение мероприятий по сокращению потерь выращенного урожая является одной из наиболее актуальных задач, решению которой посвящены многие исследовательские работы [1—10], однако, как показывает практика, потери урожая всё ещё достаточно велики и в большинстве случаев значительно превышают нормативные.

По экспертной оценке потери зерна в среднем в России составляют порядка 17 % от выращенного урожая, а в отдельных регионах при неблагоприятных погодных условиях теряется до трети выращенного урожая. Значительная часть потерь отмечается именно на этапе уборочных работ [11].

На сегодняшний день уборка зерновых производится, как правило, с применением зерноуборочных комбайнов. В этом случае (при уборке зерновых раздельным способом) потеря зерна происходит, в частности, в процессе работы подборщика. Как показала практика, потери зерна за подборщиком при нормативных 0,5 % могут достигать 5 % и более от выращенного урожая [1].

Это обстоятельство вынуждает исследователей и производителей зерноуборочной техники неоднократно возвращаться к решению задач по сокращению потерь в процессе уборки зерновых культур. Одной из таких задач является снижение потерь зерна за подборщиком. Для решения этой задачи необходима полная картина процессов, протекающих при взаимодействии пальцев подборщика с валком во всех зонах его подбора. Однако анализ научно-технической и патентной литературы показал, что на сегодняшний день количество аналитических работ и патентных предложений, посвящённых подборщикам зерновых культур, невелико.

В наиболее известных работах Е. С. Босого [4], Н. И. Клёнина [5] и других авторов [6—8] при изучении технологического процесса подбора валка, лежащего на стерне, основное внимание уделяется зависимости чистоты подбора от кинематического режима работы подборщика, который характеризуется соотношением скоростей конца пальцев подборщика и комбайна в поступательном его движении (показателем кинематического режима λ). Возникновение потерь зерна при подборе связывается с нарушением показателя λ. В результате исследований с целью оптимизации технологического процесса подбора валка и исключения потерь зерна при подборе авторы предлагают рекомендации по выбору оптимального показателя λ. Однако необходимо подчеркнуть, что на практике рекомендуемый режим работы актуален в начальный момент работы подборщика, когда валок лежит на стерне. В дальнейшем валок поднимается пальцами подборщика и в силу своей связанности лентой поступает на верхнюю часть подборщика.

Значительный вклад в развитие теории подборщиков при уборке колосовых внесла В. Н. Гячева [9]. Наряду с анализом причин возникновения потерь зерна вследствие несоблюде-

ния кинематического режима работы подборщика и вибрационных воздействий на валок со стороны подбирающего устройства и самого подборщика она рассмотрела взаимосвязь между движением валка по подборщику и качеством подбора. В. Н. Гячева одной из первых представила модель валка в виде упругой балки, поднимаемой катком, и получила интегро-дифференциальное уравнение упругой линии валка, позволяющее, по мнению автора, оптимизировать процесс подбора валка и определять оптимальные параметры подборщиков.

Для изучения потерь зерна вследствие колебаний подборщика совместно с валком в вертикальной плоскости В. И. Колесниковым, А. А. Ляхом и Н. Г. Поповым [10] предложена ещё одна модель валка. Авторы представили его состоящим из набора отдельных масс и упругих связей между ними и получили дискретную динамическую модель поперечных колебаний валка.

Анализируя указанные выше аналитические работы [4—10], следует отметить, что все они предназначены для решения локальных задач: изучения кинематики подбора, движения валка по подборщику и анализа потерь зерна вследствие вертикальных колебаний валка совместно с подборщиком. Они не позволяют, в силу отсутствия целостного подхода к изучению технологического процесса подбора валка и причин возникновения потерь зерна при подборе, всесторонне изучить процесс подбора валка во всех зонах взаимодействия пальцев подборщика с валком (как и непосредственно в самой зоне подбора валка).

Следует отметить также, что аналитические исследования [4—10] выполнены достаточно давно и относятся, как правило, к подборщикам барабанного типа. Приводимые в литературе рекомендации для полотняно-транспортёрного подборщика могут быть использованы лишь выборочно. Таким образом, на сегодняшний день полотняно-транспортёрный подборщик, оставаясь наиболее востребованным, недостаточно изучен.

Несмотря на безусловную теоретическую ценность аналитических работ, в настоящее время не удалось снизить потери зерна за подборщиком до нормативных значений, а значит, задача по сокращению потерь зерна за подборщиком сохраняет свою актуальность.

Для решения указанной задачи необходимо комплексно рассмотреть причины возникновения потерь зерна за подборщиком, которые возникают во всех зонах подбора при взаимодействии пальцев подборщика с валком.

С этой целью надо располагать, прежде всего, универсальной моделью конфигурации валка, которая позволит изучить технологический процесс работы подборщика в зоне подбора, подъёма и транспортировки валка.

Определение конфигурации валка в зоне подбора его подборщиком. Учитывая особенности структуры уложенного жаткой валка, например его гибкость в продольном направлении и стохастическое расположение колосьев, а также требования к подбору валка, считаем, что оптимальной моделью, описывающей конфигурацию валка в процессе подбора, является цепная линия, верхняя часть которой расположена на подборщике и свободно спадает с него, а нижняя — на стерне (далее — на почве).

Для приближения модели к конфигурации реального валка в процессе подбора ограничим провисание цепной линии следующим образом.

В реальных условиях валок не является одномерной конструкцией, как цепная линия, а имеет определённую толщину. При этом часть валка, лежащая на транспортёре, и горизонтальная часть валка (лежащая на почве) соединяются криволинейным слоем.

Важной характеристикой формы валка является радиус кривизны (определяющий провисание валка). Как показывают исследования, в каждой точке цепной линии имеется определённое значение радиуса кривизны, причём значения в точке сопряжения с валом и в точке соединения валка с почвой будут различны. На качество подбора валка большое влияние оказывает величина радиуса кривизны в точке соприкосновения валка с почвой — чем меньше радиус кривизны, тем

более круто изменяется форма кривой в окрестности этой точки. В случае большого радиуса кривизны валок будет сильно вытянут (что предполагает большое натяжение) и, наоборот, при малом радиусе кривизны провисающая часть валка будет короче по горизонтали (происходит его складывание).

Форма валка (а значит, и радиус кривизны) зависит от кинематического режима работы подборщика. В процессе подбора недопустимо, чтобы валок сгруживался (складывался в зоне подбора) перед подборщиком. Поэтому, в соответствии с принятыми нами допущениями о свойствах валка в зоне подбора, для описания ограничения складывания валка будем считать (по аналогии с теорией изгиба балок), что плоские сечения валка, нормальные к срединной плоскости, не могут при деформировании проходить друг сквозь друга. Указанное условие выполняется только в том случае, если радиус кривизны валка равен или больше толщины валка. В нашем случае для расчёта формы валка, соответствующей оптимальному технологическому процессу подбора валка (то есть без складывания и чрезмерного растягивания валка), наименьший радиус кривизны (который наблюдается в точке *Z*, рис. 1) принят равным толщине валка. Если радиус кривизны валка будет больше толщины валка, возникают большие усилия растяжения валка, что приводит к его разрыву (потере целостности).

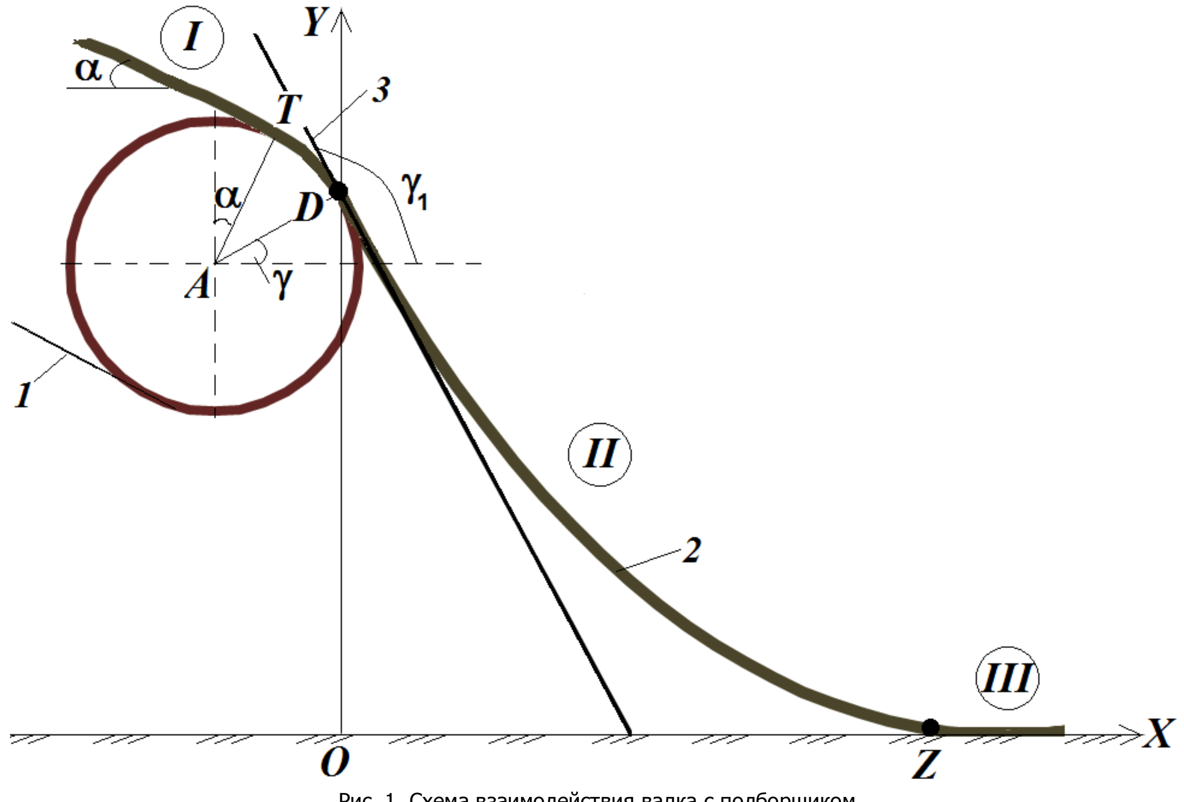


Рис. 1. Схема взаимодействия валка с подборщиком

Применительно к полотняно-транспортёрному подборщику модель валка будет выглядеть следующим образом.

Представим валок схематично — линией, состоящей из трёх характерных частей (рис. 1). Первая часть (*I*) — это валок, находящийся на верхней ветви транспортёра до точки *D*, в которой он отходит от транспортёра. Вторая часть (*II*) начинается в точке *D* и заканчивается в точке контакта валка с почвой *Z*. Эта часть висит в воздухе. В третьей части (*III*), начиная с точки *Z*, валок располагается на почве.

По технологическим требованиям для качественного подбора валка необходимо, чтобы он непрерывной лентой поступал на транспортёр подборщика [1]. Естественно полагать, что все три части валка, обозначенные выше, образуют единую, непрерывную, гладкую кривую. Основной задачей является определение формы валка на участке *II*, то есть формы кривой *DZ*, включая положения точек *D* и *Z*. Именно здесь происходит контакт пальцев подборщика с валком.

В точке *D* валок направлен по касательной к транспортёрной ленте (к валу) и далее, свисая вниз, изгибается, а в точке *Z* плавно переходит на горизонтальную линию почвы. Такую форму можно описать уравнением цепной линии [12]:

$$y(x) = \frac{a}{2}\left[\exp\frac{(x + c_1)}{a} + \exp\frac{-(x + c_1)}{a}\right] - c_2, \tag{1}$$

где $a = \dfrac{H}{\rho}$, *H* — горизонтальная составляющая натяжения нити, ρ — вес одного погонного метра нити; c_1 и c_2 — постоянные параметры интегрирования при выводе уравнения, определяющие положение нити в системе координат *XOY*. Для рассматриваемого нами валка на участке *II* введём обозначения $b = -c_1$, $d = c_2$.

Выберем систему координат так, что точка *D* имеет координату $x = 0$.

Параметры *a*, *b*, *d* выбираются из граничных условий, с обеспечением гладкости единой формы валка, то есть в крайних точках *D* и *Z* выполняются условия: $y(0) = c$, $y(z) = 0$, $y'(0) = \text{tg}\gamma_1$, $y'(z) = 0$.

Здесь *c* — высота точки «крепления» валка, то есть ордината точки *D* ($c = OD$ — расстояние от почвы до точки *D*).

Угол $\gamma_1 = \pi - \xi = \pi/2 + \gamma$, определяющий направление касательной в точке *D*, связан с углом γ, определяющим положение точки *D* на валу (рис. 1), и с параметром *c*. Касательная к валу подборщика в точке *D* является также касательной к свисающему валку в этой же точке.

Уравнение (1) можно записать в виде

$$y(x) = \frac{a}{2}\left[\exp\frac{(x - b)}{a} + \exp\frac{-(x - b)}{a}\right] - d = a \cdot \text{ch}\frac{x - b}{a} - d. \tag{2}$$

Из граничных условий в точке *z* следует, что $b = z$, $d = a$, и далее:

$$c = \left(\text{ch}\left(\frac{-z}{a}\right) - 1\right)a, \quad \text{sh}\left(\frac{-z}{a}\right) = \text{tg}\gamma_1, \tag{3}$$

$$z = a \cdot \text{Arch}\left(1 + \frac{c}{a}\right). \tag{4}$$

Из этих соотношений приходим к уравнению для параметра *c*

$$c = y_A + r\sin\left(\text{Arcctg}\left(\text{sh}\left(\text{Arch}\left(1 + \frac{c}{a}\right)\right)\right)\right), \tag{5}$$

и уравнение валка приобретает вид

$$y(x) = a\left(\text{ch}\frac{x - z}{a} - 1\right). \tag{6}$$

Радиус кривизны (провисания) валка в данном случае $\rho(x) = a\,\text{ch}^2\frac{x - b}{a} \geq \delta_{валка}$. Анализ показывает, что минимальное значение $\rho(x)$ достигается в точке $x = z$. При определении параметров валка используем минимальное значение в неравенстве $\rho(x) \geq \delta_{валка}$, то есть $\rho(z) = \delta_{валка}$, откуда следует, что $a = \delta_{валка}$.

Таким образом, параметр *a* определён толщиной валка. Решая нелинейное уравнение (5) находим высоту *c* (положение точки *D*), а из (4) вычисляется параметр *z*.

После определения всех характеристик формы валка по параметру *a* можно определить величину горизонтальной составляющей натяжения цепной линии (валка) *H*, и далее рассчитать силу натяжения *N*, а также удельную нагрузку на единицу площади поперечного сечения валка. Ввиду малой прочности валка (при растяжении) большие значения этих напряжений недопустимы из-за разрушения валка при его натяжении — в этом случае реальный валок будет сильнее провисать (изгиб будет более крутым), чем это определено данным расчётом, и, таким образом, валок будет ещё ближе к пальцам подборщика.

В результате проведённых расчётов при исходных данных (соотвествующих реальным характеристикам валка и подборщика), указанных в табл. 1, получены параметры уравнения (6) и характеристики цепной линии моделирующей валок (см. табл. 2).

Таблица 1

Исходные данные, принятые для моделирования конфигурации валка

Название параметра	Обозначение	Значение	Размерность
Удельная нагрузка (вес валка)	ρ	100	Н/м
Радиус вала подборщика	r	0,05	м
Высота точки *A* (координата центра вала)	Y_A	0,16	м
Толщина валка	$\delta_{валка}$	0,17	м

Таблица 2

Результаты расчёта

Название параметра	Обозначение	Значение	Размерность
Основные параметры формы валка			
Параметр натяжения	a	0,170	м
Высота точки *D*	c	0,184	м
Расстояние от начала координат до точки отрыва валка от почвы (длина зоны провисания)	z	0,232	м
Расчётные характеристики			
Горизонтальная составляющая натяжения	H	16,7	Н
Натяжение по касательной	N	35,2	Н
Угол гамма для касательной	γ	28,3	градус
Угол между касательной к валу в точке *D* и горизонталью	γ_1	118,3	градус

Общий вид конфигурации валка, полученной в соответствии с уравнением (6), представлен на рис. 2.

Полученная модель валка в виде цепной линии сформирована на основе физически естественных допущений и учитывает основные физико-механические и технологические свойства валка, проявляющиеся в процессе подбора валка и обусловливающие его конфигурацию через два основных параметра: удельный вес (плотность) ρ и толщину $\delta_{валка}$. Свойства вида скашиваемой пшеницы, плотности укладки и влажности валка могут учитываться через обозначенные два параметра (реальные характеристики валка). Чем больше плотность и/или влажность валка, тем более крутым будет участок *DZ*. Таким же образом моделью могут быть учтены и изменения в конфигурации валка по плотности различных сельхозкультур.

Модель цепной линии, определяющая конфигурацию валка, может быть скорректирована на основании экспериментальных данных по форме и механическим свойствам валка.

В частности, следует отметить, что данная конфигурация соотвествует оценке крайней нижней образующей валка при подборе.

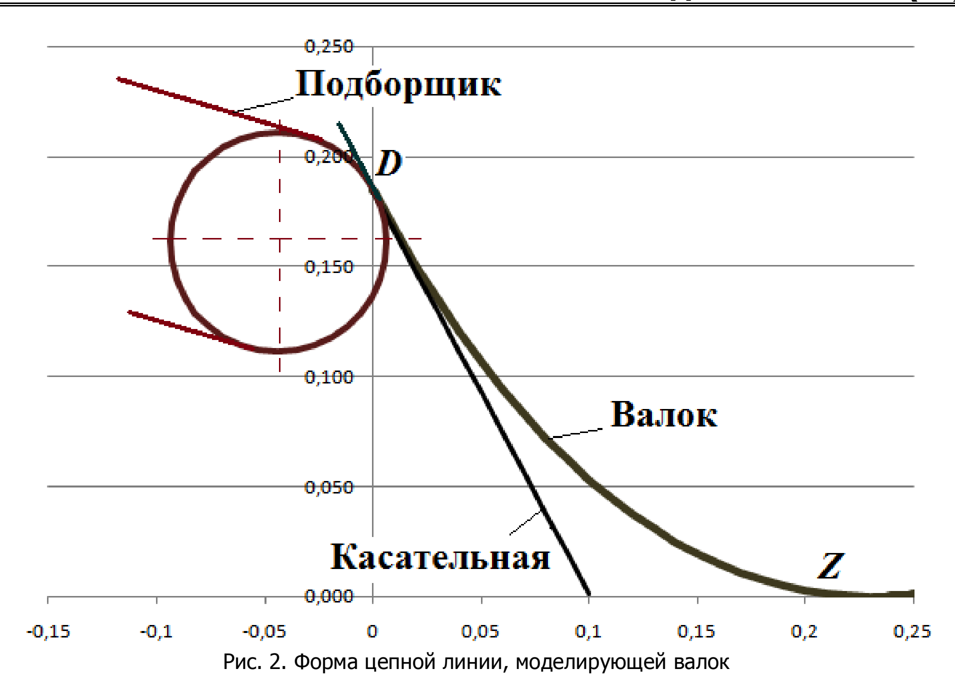


Рис. 2. Форма цепной линии, моделирующей валок

Предлагаемый подход позволяет учитывать также и изменение конфигурации валка в зависимости от кинематического режима работы подборщика. Так, например, при малых значениях коэффициента кинематического режима работы подборщика λ (большой скорости комбайна) происходит сгруживание валка перед подборщиком. В данной модели валок будет сжиматься по горизонтали. Это отражается уменьшением угла γ_1 и параметра *z*, пропорционально скорости. При больших значениях λ происходит условное натяжение валка.

В процессе подбора валка движение любой его точки, например точки *D* можно разложить на поступательное совместно с комбайном и относительное совместно с валом (транспортёром) подборщика.

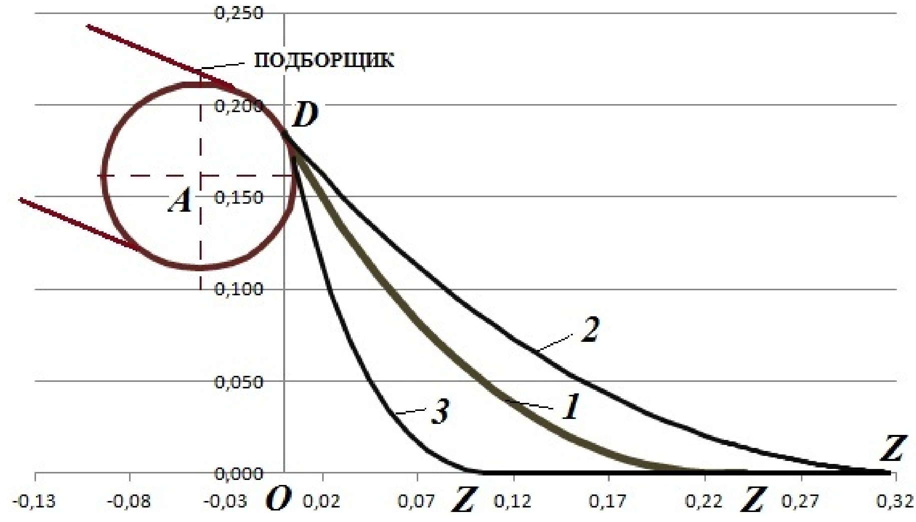


Рис. 3. Изменения в конфигурации валка в зависимости от кинематического режима работы подборщика: 1 — конфигурация валка, полученная в соответствии с моделью, при соблюдении условия $\rho(z) = \delta_{ВАЛКА}$ (λ = 4,3); 2 — конфигурация валка при значениях λ > 4,3, когда происходит разрыв валка; 3 — конфигурация валка, соответствующая λ = 3, при которой $\rho(z) < \delta_{ВАЛКА}$, то есть валок сгруживается

Поступательная скорость точки *D* характеризуется вектором V_K, а относительная — вектором V_{TP}, причём этот вектор скорости направлен по касательной в точке *D* к валу

подборщика. Итоговая (суммарная) скорость *V* точки *D* будет определяться как геометрическая сумма указанных скоростей V_K и V_{TP}, причём, чем больше скорость *V*, тем меньше будет расстояние $OZ = z$, и наоборот [13].

Это позволяет использовать поправочный коэффициент *k*, на который следует умножать параметр *z*, чтобы получить конфигурацию валка (рис. 3) в данном конкретном случае $k = 1 - V_X / V$.

Как видно из рис. 3 (и анализа, представленного в работе [13]), для улучшения технологического процесса подбора валка коэффициент кинематического режима работы подборщика должен быть в пределах 3 ≤ λ ≤ 4,3.

Заключение. Представленная модель валка в виде цепной линии позволяет:

— комплексно изучить технологический процесс подбора валка подборщиком;

— изучить процессы, происходящие при подборе валка в целом и в зоне подбора при взаимодействии пальцев полотняно-транспортёрного подборщика с нижней частью валка.

Библиографический список

1. Комарова, М. К. Борьба с потерями зерновых колосовых / М. К. Комарова, В. И. Недовесов. — Москва: Россельхозиздат, 1975. — 160 с.

2. Фёдоров, В. Ф. Контроль качества работы зерноуборочного комбайна / В. Ф. Фёдоров, М. В. Богиня // Проблемы современной аграрной науки: мат-лы междунар. заоч. науч. конф., 15 окт. 2009 г. — Красноярск, 2010. — С. 24—29.

3. Каскулов, М. Х. Проблемы уменьшения потерь зерна при уборке зерновых культур / М. Х. Каскулов, Ю. А. Шекихачев, М. Н. Малухов // Вопросы сельскохозяйственного производства. — Москва, 1988. — С. 92—94.

4. Теория, конструкция и расчёт сельскохозяйственных машин: учебник для вузов / Е. С. Босой [и др.]. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Машиностроение, 1977. — 568 с.

5. Клёнин, Н. И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Н. И. Клёнин, В. А. Сакун. — Москва: Колос, 1994. — 751 с. — (Учебники и учеб. пособия для высш. учеб. заведений).

6. Зерноуборочные комбайны / Г. Ф. Серый [и др.]. — Москва: Агропромиздат, 1986. — 248 с.

7. Долгов, И. А. Уборочные сельскохозяйственные машины. Конструкция, теория, расчёт: учебник / И. А. Долгов. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2003. — 707 с.

8. Гячева, В. Н. О механико-технологических основах теории подборщиков / В. Н. Гячева // Вопросы механизации и электрификации сельскохозяйственного производства. — 1972. — Вып. 15. — С. 21—24.

9. Гячева, В. Н. О движении валка как упруго-деформируемой балки / В. Н. Гячева // Вопросы механики деформируемых тел. — 1972. — С. 76—79.

10. Колесников, В. И. Моделирование технологического процесса подбора валка зерновых культур / В. И. Колесников, А. А. Лях, Н. Г. Попов // Динамика узлов и агрегатов сельскохозяйственных машин. — Ростов-на-Дону, 1980. — С. 116—120.

11. Лесняк, О. Н. Анализ причин возникновения потерь урожая зерновых культур / О. Н. Лесняк // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: мат-лы междунар. науч.-практ. конф., 2—3 марта 2011 г. — Ростов-на-Дону, 2011. — 430 с.

12. Рекач, В. Г. Руководство к решению задач прикладной теории упругости / В. Г. Рекач. — Москва: Высшая школа, 1973. — 302 с.

13. Красноступ, С. М. Обоснование кинематического режима работы подборщика / С. М. Красноступ, О. Н. Лесняк, А. Д. Азаров // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: мат-лы междунар. науч.-практ. конф., 2—3 марта 2011 г. — Ростов-на-Дону, 2011. — 430 с.

Материал поступил в редакцию 2.02.2012.

References

1. Komarova, M. K. Bor`ba s poteryami zernovy`x kolosovy`x / M. K. Komarova, V. I. Nedovesov. — Moskva: Rossel`xozizdat, 1975. — 160 s. — In Russian.

2. Fyodorov, V. F. Kontrol` kachestva raboty` zernouborochnogo kombajna / V. F. Fyodorov, M. V. Boginya // Problemy` sovremennoj agrarnoj nauki: mat-ly` mezhdunar. zaoch. nauch. konf., 15 okt. 2009 g. — Krasnoyarsk, 2010. — S. 24—29. — In Russian.

3. Kaskulov, M. X. Problemy` umen`sheniya poter` zerna pri uborke zernovy`x kul`tur / M. X. Kaskulov, Yu. A. Shekixachev, M. N. Maluxov // Voprosy` sel`skoxozyajstvennogo proizvodstva. — Moskva, 1988. — S. 92—94. — In Russian.

4. Teoriya, konstrukciya i raschyot sel`skoxozyajstvenny`x mashin: uchebnik dlya vuzov / E. S. Bosoj [i dr.]. — 2-e izd., pererab. i dop. — Moskva: Mashinostroenie, 1977. — 568 s. — In Russian.

5. Klyonin, N. I. Sel`skoxozyajstvenny`e i meliorativny`e mashiny` / N. I. Klyonin, V. A. Sakun. — Moskva: Kolos, 1994. — 751 s. — (Uchebniki i ucheb. posobiya dlya vy`ssh. ucheb. zavedenij). — In Russian.

6. Zernouborochny`e kombajny` / G. F. Sery`j [i dr.]. — Moskva: Agropromizdat, 1986. — 248 s. — In Russian.

7. Dolgov, I. A. Uborochny`e sel`skoxozyajstvenny`e mashiny`. Konstrukciya, teoriya, raschyot: uchebnik / I. A. Dolgov. — Rostov-na-Donu: Izd. centr DGTU, 2003. — 707 s. — In Russian.

8. Gyacheva, V. N. O mexaniko-texnologicheskix osnovax teorii podborshhikov / V. N. Gyacheva // Voprosy` mexanizacii i e`lektrifikacii sel`skoxozyajstvennogo proizvodstva. — 1972. — Vy`p. 15. — S. 21—24. — In Russian.

9. Gyacheva, V. N. O dvizhenii valka kak uprugo-deformiruemoj balki / V. N. Gyacheva // Voprosy` mexaniki deformiruemy`x tel. — 1972. — S. 76—79. — In Russian.

10. Kolesnikov, V. I. Modelirovanie texnologicheskogo processa podbora valka zernovy`x kul`tur / V. I. Kolesnikov, A. A. Lyax, N. G. Popov // Dinamika uzlov i agregatov sel`skoxozyajstvenny`x mashin. — Rostov-na-Donu, 1980. — S. 116—120. — In Russian.

11. Lesnyak, O. N. Analiz prichin vozniknoveniya poter` urozhaya zernovy`x kul`tur / O. N. Lesnyak // Sostoyanie i perspektivy` razvitiya sel`skoxozyajstvennogo mashinostroeniya: mat-ly` mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 2—3 marta 2011 g. — Rostov-na-Donu, 2011. — 430 s. — In Russian.

12. Rekach, V. G. Rukovodstvo k resheniyu zadach prikladnoj teorii uprugosti / V. G. Rekach. — Moskva: Vy`sshaya shkola, 1973. — 302 s. — In Russian.

13. Krasnostup, S. M. Obosnovanie kinematicheskogo rezhima raboty` podborshhika / S. M. Krasnostup, O. N. Lesnyak, A. D. Azarov // Sostoyanie i perspektivy` razvitiya sel`skoxozyajstvennogo mashinostroeniya: mat-ly` mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 2—3 marta 2011 g. — Rostov-na-Donu, 2011. — 430 s. — In Russian.

ANALYSIS OF SWATH CONFIGURATION IN PICKING-UP ZONE DEPENDING ON PICKER KINEMATIC PERFORMANCE

O. N. Lesnyak, S. M. Krasnostup
(Don State Technical University),
A. D. Azarov
(Research Institute of Mechanics and Applied Mathematics, Southern Federal University)

The swath model in the form of the catenary curve is described. The dependence of the swath configuration on the technological process of the belt conveyer picker is analyzed.
Keywords: *swath, catenary curve, belt conveyer picker.*

УДК 621.9.048.6

К вопросу о развитии канала искры в ультразвуковом поле

Д. Н. Малеев, В. С. Минаков, А. Н. Кочетов
(Донской государственный технический университет)

Рассматривается теория канала искрового разряда, который является одной из основных частей технологии электроакустического напыления защитных покрытий (ЭЛАН). Определено влияние ультразвука на развитие искрового канала.
Ключевые слова: *искровой канал, ударная волна, радиус канала, ионизация газа.*

Введение. Рассматривается теория канала искрового разряда [1—3], который является одной из основных частей технологии электроакустического напыления защитных покрытий (ЭЛАН), при учёте в уравнениях баланса энергии действия высокоэнергетического ультразвукового поля. Известно, что при электроискровом разряде в газе образуется сравнительно узкий токопроводящий канал с высокой температурой и ионизацией. В этом канале выделяется джоулево тепло, что приводит к повышению давления и расширению канала. Расширяющийся канал действует подобно «поршню» на остальной газ и, так как расширение происходит со сверхзвуковой скоростью, вызывает в нём ударную волну, которая распространяется впереди этого своеобразного «поршня». Температура в области ударной волны гораздо выше, чем в невозмущённом газе. Плотность газа в канале очень мала, и подавляющая часть массы движущегося газа вытесняется из него, что и даёт возможность рассматривать границу канала как поршень.

Сам факт образования узкого канала можно понять так: при действии ультразвука, а также после пробоя газа и появления в нём проводимости, в местах протекания тока выделяется джоулево тепло. Электропроводность газа, как известно, сильно возрастает с температурой. Так, при высокой ионизации, когда существенны столкновения электронов с ионами, электропроводность пропорциональна $T^{\frac{3}{2}}$. А при малой ионизации эта зависимость ещё более резкая, так как с ростом T быстро возрастает степень ионизации и, следовательно, появляется тенденция концентрации тока в сравнительно узком канале, поскольку в местах, где выше температура, проводимость тоже больше, а значит, там течёт больший ток и выделяется больше тепла, что приводит к ещё большему разогреву и т. д.

Физическими процессами, определяющими геометрические параметры канала и предел концентрации тока, являются отвод тепла из канала и расширение нагретой области под действием давления. Каналом можно считать область до точки, где температура и степень ионизации существенно понижается. В канале можно пренебречь инерцией газа, но надо учесть выделение и перенос тепла. В области ударной волны нужно учитывать инерцию, но можно пренебречь электро- и теплопроводностью. Эти две области разделены переходным слоем – «оболочкой» канала. В оболочке происходит нагрев и ионизация входящего в канал газа. Основным уравнением задачи являются уравнения непрерывности, движения и переноса энергии:

$$\frac{\partial\rho}{\partial t}+\upsilon\frac{\partial\rho}{\partial t}+\rho\frac{\partial(\tau\upsilon)}{\partial t}=0 \tag{1}$$

$$\rho\left(\frac{\partial\upsilon}{\partial t}+\upsilon\frac{\partial\upsilon}{\partial t}\right)+\frac{\partial\rho}{\partial t}=0 \tag{2}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho\varepsilon+\frac{\rho\upsilon^2}{2}\right)+\frac{1}{\tau}\frac{\partial}{\partial t}\left(\tau\rho\upsilon\left(\varepsilon+\frac{p}{\rho}+\frac{\upsilon^2}{2}\right)\right)+\frac{\partial(\tau q)}{\tau\partial\tau}=jE+U \tag{3}$$

где ρ — плотность, υ — скорость, p — давление, ε — внутренняя энергия на единицу массы газа, q — поток тепла, j — плотность тока, E — электрическое поле, U — вклад ультразвукового поля.

Уравнение состояния имеет вид:

$$p = (n_e + n_i)T = \frac{(z+1)\rho T}{m_a}, \tag{4}$$

где m_a — средняя масса атома, n_e, n_i — числа электронов и ионов в единице объёма, z — средний разряд иона, $n_e = zn_i$.

Температура выражена в энергетических единицах.

Будем считать, что ионизацию в канале можно подсчитывать по формуле Саха [2]. Внутренняя энергия газа:

$$\varepsilon = \frac{3}{2}\frac{p}{\rho} + \frac{I}{m_a} = \frac{p}{\rho}\left[\frac{3}{2} + \frac{I}{(z+1)T}\right], \tag{5}$$

где I — полная энергия ионизации плюс диссоциации, отнесённая на один атом.

Формулу (5) удобно применять в случае полной ионизации; при неполной ионизации с увеличением T, при этом, как следует из формулы Саха, $\frac{I}{T} \approx \text{const}$, поэтому для ε более удобна формула:

$$\varepsilon = \frac{1}{\gamma - 1}\frac{p}{\rho}, \tag{6}$$

где γ — эффективный показатель адиабаты; для воздуха $\lambda = 1{,}22$.

Электропроводность $в$ и теплопроводность $н$ сильно ионизированного газа равны:

$$в = в_1(T)T^{\frac{3}{2}} = \frac{3в'(z)T^{\frac{3}{2}}}{4e^2\sqrt{2\pi m\lambda}}$$
$$н = н_1(z)T^{\frac{5}{2}} \tag{7}$$

Здесь e, m — заряд и масса электрона, $\lambda = \ln\left(\frac{3T^{\frac{3}{2}}}{ze^3\sqrt{4\pi n_e}}\right)$, $в'(z)$ — безразмерный коэффициент. Для $z = 1$ значение $в' = 1{,}95$. Величина $\frac{нe^2}{6T}$, согласно закону Видемана-Франца, порядка 1.

Для $\lambda = 5$ $в_1(1) = 3.4 \cdot 10^{13} сек^{-1} eV^{-\frac{3}{2}}$, $н_1(1) = 3.9 \cdot 10^{20} см^{-1} сек^{-1} eV^{-\frac{5}{12}}$.

Как известно, движение, определяемое всего двумя размерными параметрами, является автомодельным.

Ударная волна. Предположим, что зависимость от времени радиуса канала, граница которого играет роль поршня, вытесняющего газ, имеет вид $a(t) = At^k$; движение в области ударной волны определяется двумя размерными параметрами A, ρ_0.

В уравнениях (1) — (3) введём безразмерные обозначения (a_c) — радиус фронта волны

$$x = \frac{\tau}{a_c(t)},\ \rho'(x) = \frac{\rho}{\rho_0},\ \upsilon'(x) = \frac{\upsilon}{\dot{a}_c},\ \rho'(x) = \frac{p}{\rho_0 \dot{a}_c^2} \tag{8}$$

Пренебрегая выделением и переносом тепла, заменяем систему (1) — (3) в форме

$$\left(\upsilon' - x\right)\frac{dp'}{dx} + \rho'\frac{dx\upsilon'}{xdx} = 0$$

$$\left(1 - \frac{1}{k}\right)\upsilon' + \left(\upsilon' - x\right)\frac{d\upsilon'}{dx} + \frac{1}{\rho'}\frac{dp'}{dx} = 0 \qquad (9)$$

$$2\left(1 - \frac{1}{k}\right)p' + \left(\upsilon' - x\right)\frac{dp'}{dx} + \gamma p'\frac{dx\upsilon'}{xdx} = 0$$

С граничными условиями при $x = 1$

$$\rho' = \frac{\gamma + 1}{\gamma - 1},\ \upsilon' = \frac{2}{\left(\gamma - 1\right)'},\ p' = \frac{2}{\gamma - 1} \qquad (10)$$

Положение поршня определяется, где $\upsilon' = x$. Давление на поршень ρ_k можно выразить через скорость поршня:

$$p_k = K_p \rho_0 \dot{a}^2 \qquad (11)$$

где «коэффициент сопротивления» $K_p \approx 0,9\left(K_p = p'\left(a\right)\frac{a^2}{a_c^2}\right)$ находится из численного решения системы (9).

Канал. Будем пренебрегать излучением и примем, что:

$$q = -\frac{нdT}{d\tau} \qquad (12)$$

Пусть температура T в канале во много раз больше, чем требуется для полной ионизации, следовательно, на краю канала T много меньше, чем в центре. Положим, $T = 0$ при $\tau = a$. Введём безразмерные обозначения:

$$S = \frac{\tau^2}{a^2\left(t\right)},\ Q\left(S\right) = \frac{T}{T_0},\ u = \frac{1}{Q}\frac{\tau}{2a}\left(\frac{\tau}{a} - \frac{\upsilon}{\dot{a}}\right),\ y = \frac{\tau}{2a}\left[\frac{q}{p\dot{a}} + \frac{5}{2}\left(\frac{\upsilon}{\dot{a}} - \frac{\tau}{a}\right)\right], \qquad (13)$$

где T_0 — температура на оси. Давление считаем постоянным по сечению канала. Тогда (1), (2), (13) запишем в виде:

$$\frac{du}{ds} = \frac{1 - \left(\frac{1}{2k}\right)}{Q}$$

$$\frac{dy}{ds} = \frac{\alpha\beta}{4}Q^{\frac{3}{2}} - \left(2 - \frac{3}{4k}\right) \qquad (14)$$

$$\frac{dQ}{ds} = -\frac{y + \frac{5}{2}UQ}{\alpha S Q^{\frac{5}{2}}},$$

где $\alpha = \frac{н\left(T_0\right)T_0}{p\dot{a}}$, $\beta = \frac{в\left(T_0\right)E^2 a^2}{н\left(T_0\right)T_0}$.

Из условия сохранения энергии можно получить, что $\frac{y(1)}{u(1)} = \frac{I}{(z+1)T_0}$. Для автомодельности α, β и T не должны зависеть от T.

Для поддержания автомодельного режима необходимо показать, чтобы ток нарастал по закону $J \sim t^{\frac{3}{4}}$. Граничные условия для системы (14):

$$s = 0: \; u = 0, \; y = 0, \; Q = 1$$

$$s = 1: \; \frac{y}{u} = \frac{I}{(z+1)T_0}, \; Q = 0 \; (Q < 1) \tag{15}$$

Однородная модель канала. Если отвод тепла из канала осуществляется прозрачным излучением, то для области канала можно указать простое автомодельное решение: давление, температура и плотность постоянны по сечению, а скорость пропорциональна радиусу. Все падения температуры сосредоточены в оболочке. Там же поглощается излучение и происходит ионизация газа, поступающего в канал. Считая оболочку тонкой, можно получить систему управлений для основных параметров канала. В общем случае для оценок можно пользоваться этими уравнениями как математической моделью, описывающей, хотя и грубо, основные процессы в канале. При этом приближённо учитывать действия ультразвука и теплопроводность.

Уравнение баланса энергии для канала и оболочки имеет вид:

$$\frac{dW}{dt} + p\frac{d\pi a^2}{dt} = Q_j + Q_u \tag{16}$$

$$\left(\varepsilon + \frac{p}{\rho}\right)\frac{dM}{dt} = Q_T + Q_R \tag{17}$$

где M, W — масса и энергия газа в канале. Уравнение (16) получается интегрированием (3) по сечению канала (включая оболочку) без предположения о виде распределения величины по сечению. Для однородной модели положим $W = M\varepsilon$, $M = \pi a^2 \rho$. Уравнение (17) есть следствие закона сохранения энергии. Выражения для выделения тепла Q_j за счёт электрического поля и тепла Q_U за счёт ультразвукового поля, а также для теплоотвода излучения Q_R и теплопроводности Q_T, можно взять в виде:

$$Q_j = \frac{j^2}{\pi a^2 в}, \; Q_U = \chi\omega \tag{18}$$

$$Q_R = \pi a^2 Q_R'(p, T), \quad Q_T = 1{,}3 \cdot 2\pi н T, \tag{19}$$

где ω — частота ультразвукового напыления, χ — размерный коэффициент.

По порядку $Q_T \sim н\left(\frac{T}{a}\right)2\pi a$, коэффициент же во второй формуле (19) взят в соответствии с решением системы (14). Давление приближённо можно брать из формулы (11) для сильной ударной волны или считать равным давлению невозмущённого газа, когда волна становится слабой и переходит в звуковую.

Пользуясь формулами (11) и (5), перепишем (16) в форме

$$\rho_0 2\pi^2 \dot{a}^3 \xi = \frac{j^2}{b} + \chi_* \omega$$

$$\xi = K_p\left[1 + (\gamma - 1)^{-1} 2^{-1} \dot{a}^{-2} \frac{d^2 a^2}{dt^2}\right] = K_p\left[1 + (\lambda - 1)^{-1}\left(2 - k^{-1}\right)\right] \tag{20}$$

Здесь $k = \frac{\dot{a}t}{a}$, $\chi_k = \pi a^2 \chi$. Сравнивая (16) и (17), получим, что

$$Q_T + Q_R = \eta\left(Q_j + Q_U\right), \tag{21}$$

где η — коэффициент порядка 1. Если T не зависит от t, то

$$\eta = \gamma\left[1 + (\gamma - 1)2\dot{a}^2\left(\frac{d^2 a^2}{dt^2}\right)^{-1}\right]^{-1}. \tag{22}$$

Для слабой ударной волны, когда давление в канале можно считать равным давлению невозмущённого газа ρ_0, вместо (20) получим из (5), что

$$\frac{\rho_0 2\pi^2 a^3 \dot{a}\gamma}{(\gamma-1)} = \frac{j^2}{6+\chi_*\omega} \tag{23}$$

позволяет найти все параметры канала.

Рассмотрим канал в воздухе: проводимость $в = 2\cdot 10^{14} сек^{-1}$; $K_p = 0,9$; $\gamma = 1,2$; $J \sim t$; следовательно, $\xi = 4,5$.

Для радиуса канала в предложении $Q_U = \theta\theta_J$ из (20) при этих значениях $в$ и ξ получим выражение

$$a = 0,93(1+\theta)^{\frac{1}{6}} \rho_0^{-\frac{1}{6}} J^{\frac{1}{3}} t^{\frac{1}{2}} \tag{24}$$

Здесь *a* дано в *мм*, *J* в *кА*, *t* в *мкс*, $\rho_0 = 1.29\cdot 10^{-3}\ \frac{г}{см^3}$ при атмосферном давлении. Если же ударная волна слабая, то радиус аналогично находится из (23).

Ниже (см. табл. 1) приводятся значения радиуса, рассчитанного по формуле (24), при разных значениях θ и t (мкс), при напряжении разряда $V = 15\,kV$ и ёмкости батареи $C = 0,15\,\mu F$, а также при индуктивности в цепи $L = 2\,\mu H$ (что отвечает $j = \frac{V}{L} = 7.5\cdot 10^9\ \frac{A}{сек}$).

Таблица 1

Значения радиуса искрового канала

θ \ t	0,3	0,5	1
0	0,65	1,00	1,62
1	0,73	1,12	1,82
2	0,78	1,20	1,95
3	0,82	1,26	2,04

На основании формул (18), (19), (21) проведём оценки температуры в канале. Считая, что $\eta \sim 1$, для того же разряда, что и выше в момент $t = 1\,мкс$, при $L = 2\,\mu H$ имеем, что $Q_J + Q_U = (1+\theta)\cdot 1.7\cdot 10^{13}\ \frac{эрг}{см\cdot сек}$. Если считать, что всё тепло переносится электронной теплопроводностью, а излучением пренебречь, то из второй формулы (19) получим, что $T \approx 4(1+\theta)eV$.

Приняв $T = 4eV$ из формул (4) и (11), найдём, что количество ионов в единице объёма в этом случае будет $n_i = 9\cdot 10^{17}$, что по порядку соответствует экспериментальным значениям.

Заключение. На основании построенной приближённой модели можно сделать следующие выводы о влиянии ультразвука на развитие искрового канала.

1. Радиус канала увеличивается в $(1+\theta)^{\frac{1}{6}}$ раз по сравнению со случаем, когда нет ультразвука, где θ — отношение энергии электрического и ультразвукового полей. Соответственно, увеличив канал искры, мы увеличиваем перенос вещества с анода на катод.

2. Температура в канале увеличивается пропорционально $(1+\theta)$ в предположении, что отток тепла осуществляется электронной теплопроводностью.

3. Уже в момент образования ударной волны наступает почти полная ионизация в канале и могут создаваться условия для двукратной ионизации при высоких энергиях ультразвука.

Библиографический список

1. Александров, А. Ф. Искровой разряд / А. Ф. Александров // Физическая энциклопедия. — Москва, 1962. — Т. 2. — С. 251—252.
2. Драбкина, С. И. К теории развития канала искрового разряда / С. И. Драбкина // ЖЭТФ. — 1951. — Т. 21, вып. 4. — С. 473—483.
3. Физика быстропротекающих процессов. — Москва: Мир, 1971. — 519 с.

Материал поступил в редакцию 26.12.2011.

References

1. Aleksandrov, A. F. Iskrovoj razryad / A. F. Aleksandrov // Fizicheskaya e`nciklopediya. — Moskva, 1962. — T. 2. — S. 251—252. — In Russian.
2. Drabkina, S. I. K teorii razvitiya kanala iskrovogo razryada / S. I. Drabkina // ZhE`TF. — 1951. — T. 21, vy`p. 4. — S. 473—483. — In Russian.
3. Fizika by`stroprotekayushhix processov. — Moskva: Mir, 1971. — 519 s. — In Russian.

ON SPARK CHANNEL DEVELOPMENT IN ULTRASONIC FIELD

D. N. Maleyev, V. S. Minakov, A. N. Kochetov
(Don State Technical University)

The theory of spark discharge channel, which is one of the major parts of the electroacoustic coating technology, is considered. The effect of ultrasound on the spark channel development is determined.
Keywords: *spark channel, knock wave, radius of channel, gas ionization.*

УДК 681.511:519.87-021.262:621.643

Параметрическая идентификация трудноопределимых констант математических моделей автоматизированных систем участков магистральных газопроводов

Р. А. Нейдорф, Л. А. Журавлёв, Е. В. Тетеревлёва*, Н. Г. Фролов
(Донской государственный технический университет,
*Ухтинский государственный технический университет)

Исследуются возможности решения задачи идентификации таких трудноопределимых физических параметров математической модели участка магистрального газопровода, как удельный усреднённый по длине трубопровода коэффициент трения и фактическая средняя по трубопроводу температура при использовании изотермического варианта модели. Разрабатывается математический аппарат для такой идентификации на основе спланированного эксперимента.
Ключевые слова: *участок магистрального газопровода, автоматизированная система управления, математическая модель, стационарное течение газа, физическая константа, параметрическая идентификация.*

Введение. Для решения задач автоматизации технологических процессов дальней транспортировки природного газа характерна ситуация, когда используемая для управления или диагностики математическая модель процесса течения газа не является до конца параметрически определённой. Это касается ряда трудноопределимых констант, связанных с удельным сопротивлением трубопроводов, осреднением скорости потока по сечению, теплообменом их с окружающей средой, осреднением температуры по длине трубопровода при использовании изотермической модели и др. Поэтому аналитически построенную и, следовательно, структурно адекватную процессу математическую модель необходимо идентифицировать параметрически. Это особенно важно для описания динамики магистральных газопроводов (МГП), т. к. посредством исследований установлено, что структура связи переменных состояния этого распределённого объекта такова, что его модель очень чувствительна к некоторым параметрам и имеет физический смысл только в определённых и довольно узких диапазонах [1—3]. Исследования по определению этих диапазонов позволяют уточнить (параметрически идентифицировать) ряд трудноопределимых параметров, а также, опираясь на найденные диапазоны их возможных значений, решить задачу робастного выбора конструктивных и технологических параметров технологических участков МГП [3—6].

Формулировка задачи исследования. Для решения комплекса обозначенных здесь задач необходимо исследовать те аналитические возможности, которые предоставляют получаемые на стадии математического моделирования динамические характеристики распределённого объекта. При этом задачу целесообразно привязать к конкретному технологическому объекту — участку магистрального газопровода. Кроме того, её достаточно локализовать на оценке установившихся значений переменных процесса транспортировки газа, а также на отдельных конструктивных параметрах трубопровода. Необходимо привлечь и исследовать те взаимозависимости переменных состояния и параметров объекта, которые позволяет выделить математическая модель его установившегося состояния, т. е. модель стационарного процесса течения газа по участку МГП [3—6].

Исходная математическая модель задачи исследования. Решение сформулированной выше задачи опирается на математическую модель, характеризующую изотермический процесс[1] пе-

[1] Режим течения газа при интенсивном теплообмене с окружающей средой; принимается за парадигму для трубопроводов дальней транспортировки газа при его грунтовой прокладке.

редачи потоком газа массы вещества и преобразования его механической энергии, описывается математической системой следующего вида:

$$\left.\begin{aligned}&\frac{\partial p(x,t)}{\partial t}=-\frac{R\cdot T}{\mu}\cdot\frac{\partial q(x,t)}{\partial x}; &(a)\\&\frac{\partial q(x,t)}{\partial t}=-2\cdot\frac{R\cdot T}{\mu}\cdot\frac{q(x,t)}{p(x,t)}\cdot\frac{\partial q(x,t)}{\partial x}+\left(\frac{R\cdot T}{\mu}\cdot\left(\frac{q(x,t)}{p(x,t)}\right)^2-1\right)\cdot\frac{\partial p(x)}{\partial x}-\\&\qquad-\frac{4\cdot\lambda\cdot R\cdot T}{\mu\cdot D}\cdot q(x)\cdot\left|\frac{q(x)}{p(x)}\right|. &(b)\end{aligned}\right\}\qquad(1)$$

Модель (1) построена в базисе (p,q), где $p(x,t)$ — давление в произвольном сечении потока в произвольный момент времени (Па); $q(x,t)$ — удельный (на единицу площади сечения трубопровода) массовый расход газа $\left(кг\ /\ с\cdot м^2\right)$; R — универсальная газовая постоянная $\left(Дж\ /\ моль\cdot K\right)$; T — абсолютная его температура (*K*); μ — молярная масса газа $\left(кг\ /\ моль\right)$; D — диаметр трубопровода; λ — удельный (на единицу площади боковой поверхности трубопровода) коэффициент трения газа. Константы модели заданы следующими значениями: D = 1,22 *м*; R = 8,3144; μ = 0,01604 *моль*, а λ и T подлежат идентификации.

В связи с поставленной выше задачей решения проблем идентификации в рамках стационарного состояния объекта исследования модель (1) необходимо представить структурно в несколько другом виде, обусловленном допущением о затухании всех переходных процессов. Оно связано с равенством нулю производных по времени всех переменных моделируемого процесса. Таким образом, необходима модель стационарного течения газа по трубопроводу. В базисе модели (1) — (p,q) она имеет следующий вид:

$$\left.\begin{aligned}&\frac{dp(x)}{dx}=\frac{4\cdot\lambda\cdot R\cdot T\cdot p(x)\cdot q(x)^2}{D\cdot\left(R\cdot T\cdot q(x)^2-\mu\cdot p(x)^2\right)}; &(a)\\&\frac{dq(x)}{dx}=0. &(b)\end{aligned}\right\}\qquad(2)$$

Интегрирование уравнения (2 *b*) выявляет свойство инвариантности массового расхода к пространственной координате, которое моделируется условием $\forall x\in[0,L]\rightarrow q(x)=q_0=\text{const}$. Тогда, интегрируя (2 *a*) при $q(x)=q_0$, можно получить систему алгебраических уравнений, эквивалентную системе дифференциальных уравнений (2)

$$\left.\begin{aligned}&q(x)=q_0; &(a)\\&\frac{\mu}{2\cdot R\cdot T\cdot q_0^2}\cdot\left(p_0^2-p^2\right)+\ln\left(\frac{p}{p_0}\right)-\frac{4\cdot\lambda}{D}\cdot x=0. &(b)\end{aligned}\right\}\qquad(3)$$

Математическая модель решения задачи идентификации. Структура зависимости (3b) позволяет получить явные выражения для температуры потока газа и коэффициента трения потока о стенки трубопровода. При необходимости их также можно преобразовать, для того чтобы в расчётах основываться не на фиксированном базисе, а использовать в качестве базисных переменных те переменные состояния потока, значения которых известны и которые удобны для исследователя.

Для демонстрации возможности такого преобразования и корректности расчёта, основанного на нём, приведём вариант преобразования базиса относительно скорости потока газа. В этом

случае выражение (3b) примет вид (4) и будет содержать только одну переменную состояния потока — скорость:

$$\frac{R\cdot T}{2\cdot\mu\cdot v_0^{\,2}}\cdot\left(1-\frac{v_0^{\,2}}{v^2}\right)+\ln\left(\frac{v}{v_0}\right)-\frac{4\cdot\lambda}{D}\cdot x=0\,. \qquad (4)$$

Из (4) можно выразить λ (5) и T (6):

$$\lambda=\frac{D}{4\cdot x}\cdot\left[\frac{R\cdot T}{2\cdot\mu\cdot v_0^{\,2}}\cdot\left(1-\frac{v_0^{\,2}}{v^2}\right)+\ln\left(\frac{v}{v_0}\right)\right], \qquad (5)$$

$$T=\frac{2\cdot\mu}{R}\cdot\left[\frac{4\cdot\lambda}{D}\cdot x-\ln\left(\frac{v}{v_0}\right)\right]\cdot\frac{v_0^{\,2}\cdot v^2}{v^2-v_0^{\,2}} \qquad (6)$$

Объединим (5) и (6) в систему. Чтобы избежать линейной зависимости, используем два набора опытных данных при различных начальных условиях (v_{01}, v_1 и v_{02}, v_2).

$$\begin{cases}\lambda=\dfrac{D}{4\cdot x}\cdot\left[\dfrac{R\cdot T}{2\cdot\mu\cdot v_{01}^{\,2}}\cdot\left(1-\dfrac{v_{01}^{\,2}}{v_1^{\,2}}\right)+\ln\left(\dfrac{v_1}{v_{01}}\right)\right],\\ T=\dfrac{2\cdot\mu}{R}\cdot\left[\dfrac{4\cdot\lambda}{D}\cdot x-\ln\left(\dfrac{v_2}{v_{02}}\right)\right]\cdot\dfrac{v_{02}^{\,2}\cdot v_2^{\,2}}{v_2^{\,2}-v_{02}^{\,2}}.\end{cases} \qquad (7)$$

Полученная ММ УМГП, разрешённая относительно температуры потока газа и коэффициента трения потока о стенки трубопровода, позволяет произвести идентификацию коэффициента трения потока газа о стенки трубопровода и средней температуры потока в ситуации, когда значения этих констант либо не замеряются на всём протяжении участка, либо количество замеров не позволяет корректно рассчитать их усреднённые оценки.

Хотя система (7) легко разрешима относительно неизвестных λ и T, возникает проблема точности результата, поскольку погрешности в измерениях исходных величин могут привести к неточности итогового результата. Чтобы повысить точность идентификации, целесообразно использовать не два набора опытных данных, а n, т. е. v_{0i} и v_i при $i=\overline{1,n}$. Построим всевозможные сочетания этих измерений из n по 2 без повторений, разрешим для каждого из сочетаний систему (7) и вычислим усреднённую оценку λ и T. С помощью этого, в соответствии с законом больших чисел, удастся получить искомый результат с высокой достоверностью.

Построение комбинаций опытных данных для решения системы (7) позволяет увеличить выборку без увеличения числа опытов. В табл. 1 указаны соответствия числа измерений (n) числу возможных сочетаний по два (C_n^2).

Таблица 1

Соответствие числа измерений числу сочетаний

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C_n^2	1	3	6	10	15	21	28	36	45

Пример решения задачи идентификации. Рассмотрим пример расчёта, произведённого согласно описанному методу. Исходные данные представлены в табл. 2.

Простейшим вариантом будет являться расчёт на основе лишь двух наборов опытных данных, необходимых и достаточных для однократного решения системы (7) и нахождения весьма приближённой оценки исследуемых констант. В более сложном варианте, т. е. при увеличении количества измерений, точность результатов возрастает. Поскольку этот случай представляет больший интерес, будем производить расчёты на основе 4 наборов опытных данных (измерений начальной и конечной скорости; табл. 3).

Таблица 2

Исходные данные для идентификации

L, м	D, м	μ, $\frac{кг}{моль}$
137000	1,195	0,016

Таблица 3

Начальная и конечная скорости

№	v_0, м	v, м
1	13	81,0026
2	12	29,2682
3	11	20,066
4	10	15,3994

В рассматриваемом случае мы ограничились 4 измерениями. Как видно из табл. 1, эти измерения могут быть использованы в 6 сочетаниях.

Для каждой из комбинаций заданных измерений решим систему (7), найдём 6 пар значений температуры и коэффициента трения. Путём вычисления среднего арифметического соответствующих элементов этих пар найдём усреднённые оценки искомых величин. Результаты сведём в табл. 4.

Таблица 4

Расчёт комбинаций и средних значений

№	Изм. 1	Изм. 2	λ	T, м
1	1	2	0,00096086	292,96
2	1	3	0,00096148	293,15
3	1	4	0,00096131	293,091
4	2	3	0,00096349	293,76
5	2	4	0,00096221	293,37
6	3	4	0,00096003	292,701
Средн.	—	—	0,00096156	293,17

Результаты исследований. Таким образом, коэффициент трения идентифицируется значением 0,00096156, температура — значением 293,17. Заметим, что реальное значение коэффициента трения при заданных параметрах 0,000961, а температуры — 293 К. Таким образом, точность идентификации констант при 4 наборах опытных данных оказалась достаточно высокой.

Таблица 5

Квадраты отклонения от среднего значения

№	$\left(\lambda - \bar{\lambda}\right)^2$	$\left(T - \bar{T}\right)^2$
1	$0{,}491717 \cdot 10^{-12}$	0,0459939
2	$0{,}00687775 \cdot 10^{-12}$	0,000633233
3	$0{,}066689 \cdot 10^{-12}$	0,00621534
4	$3{,}70436 \cdot 10^{-12}$	0,3454766
5	$0{,}421776 \cdot 10^{-12}$	0,03927496
6	$2{,}34615 \cdot 10^{-12}$	0,2185451

Исследуем полученные результаты с точки зрения математической статистики, чтобы доказать, что использование комбинаций позволяет на основе относительно небольшого числа измерений получить статистически достоверный результат. Вычислим квадраты отклонений λ и T от средних значений для каждой из комбинаций (табл. 5).

Рассчитаем среднеквадратическое отклонение σ, дисперсию σ^2, а также стандартное отклонение s (оценку среднеквадратичного отклонения относительно математического ожидания на основе несмещённой оценки дисперсии) для λ и T (табл. 6).

Таблица 6

Статистические и вероятностные показатели

Показатель	λ	T
$\sum_{i=1}^{6}\left(\lambda_i - \bar{\lambda}\right)^2$	$7{,}037567 \cdot 10^{-12}$	0,656139
σ	$1{,}083018 \cdot 10^{-6}$	0,330691
σ^2	$1{,}172928 \cdot 10^{-12}$	0,109357
s	$1{,}407513 \cdot 10^{-12}$	0,362254
Среднее значение	0,00096156	293,17
Относительная ошибка	0,0011263	0,0011280

Заключение. Таким образом, теоретические расчёты и экспериментальная проверка показали, что предложенный метод позволяет достичь значительно более высокой точности результата, чем прямые методы идентификации, т. к. относительная ошибка оценки параметра немногим более 0,1 %.

Библиографический список

1. Нейдорф, Р. А. Моделирование процессов транспортировки газа магистральными трубопроводами / Р. А. Нейдорф, В. Е. Бачурин // XVI Междунар. науч. конф. «Математические методы в технике и технологиях» ММТТ-16: сб. тр. В 10 т. Т. 3. Секция 3 / Санкт-Петербургский гос. технол. ин-т. — Санкт-Петербург: Изд-во СПбГТИ(ТУ), 2003. — С. 180—183.

2. Нейдорф, Р. А. Моделирование динамики магистральных газопроводов с учётом тепловых процессов / Р. А. Нейдорф, В. Е. Бачурин // XVI Междунар. науч. конф. «Математические методы в технике и технологиях» ММТТ-16: сб. тр.: В 10 т. Т 3. Секция 3 / Санкт-Петербургский гос. технол. ин-т. — Санкт-Петербург: Изд-во СПбГТИ(ТУ), 2003. — Т 3. — С. 183—186.

3. Нейдорф, Р. А. Простой алгоритм расчёта статики процесса транспортировки газа / Р. А. Нейдорф, Е. В. Тетеревлёва // XXI Международ. науч. конф. «Математические методы в технике и технологиях — ММТТ-21»: сб. тр. В 11 т. Т. 6. — Саратов: Саратовский гос. техн. ун-т, 2008. — С. 20—21.

4. Тетеревлёва, Е. В. Проблемы моделирования процессов транспортировки магистральными трубопроводами / Е. В. Тетеревлёва, Р. А. Нейдорф, З. Х. Ягубов // Системный анализ, управление и обработка информации: сб. науч. ст. / под общ. ред. Р. А. Нейдорфа. — Ростов-на-Дону: ДГТУ; Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2007. — С. 158—163.

5. Тетеревлёва, Е. В. Статическая модель участка газопровода и перспективы её использования / Е. В. Тетеревлёва // Системный анализ, управление и обработка информации: сб. науч. ст. / под общ. ред. Р. А. Нейдорфа. — Ростов-на-Дону: ДГТУ; Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2007. — С. 164—168.

6. Кудинов, Н. В. Идентификация параметров обыкновенных дифференциальных уравнений методом наименьших квадратов на эквидистантной разностной сетке / Н. В. Кудинов // XVIII Международ. науч. конф. «Математические методы в технике и технологиях»: сб. тр. — Казань: КГТУ, 2005. — Т. 2. — С. 166—168.

Материал поступил в редакцию 1.03.2012.

References

1. Nejdorf, R. A. Modelirovanie processov transportirovki gaza magistral`ny`mi truboprovodami / R. A. Nejdorf, V. E. Bachurin // XVI Mezhdunar. nauch. konf. «Matematicheskie metody` v texnike i texnologiyax» MMTT-16: sb. tp. V 10 t. T 3. Sekciya 3 / Sankt-Peterburgskij gos. texnol. in-t. — Sankt-Peterburg: Izd-vo SPbGTI(TU), 2003. — S. 180—183. — In Russian.

2. Nejdorf, R. A. Modelirovanie dinamiki magistral`ny`x gazoprovodov s uchyotom teplovy`x processov / R. A. Nejdorf, V. E. Bachurin // XVI Mezhdunar. nauch. konf. «Matematicheskie metody` v texnike i texnologiyax» MMTT-16: sb. tp.: V 10 t. T 3. Sekciya 3 / Sankt-Peterburgskij gos. texnol. in-t. — Sankt-Peterburg: Izd-vo SPbGTI(TU), 2003. — T. 3. — S. 183—186. — In Russian.

3. Nejdorf, R. A. Prostoj algoritm raschyota statiki processa transportirovki gaza / R. A. Nejdorf, E. V. Teterevlyova // XXI Mezhdunarod. nauch. konf. «Matematicheskie metody` v texnike i texnologiyax — MMTT-21»: sb. tr. V 11 t. T. 6. — Saratov: Saratovskij gos. texn. un-t, 2008. — S. 20—21. — In Russian.

4. Teterevlyova, E. V. Problemy` modelirovaniya processov transportirovki magistral`ny`mi truboprovodami / E. V. Teterevlyova, R. A. Nejdorf, Z. X. Yagubov // Sistemny`j analiz, upravlenie i obrabotka informacii: sb. nauch. st. / pod obshh. red. R. A. Nejdorfa. — Rostov-na-Donu: DGTU; Taganrog: TTI YuFU, 2007. — S. 158—163. — In Russian.

5. Teterevlyova, E. V. Staticheskaya model` uchastka gazoprovoda i perspektivy` eyo ispol`zovaniya / E. V. Teterevlyova // Sistemny`j analiz, upravlenie i obrabotka informacii: sb. nauch. st. / pod obshh. red. R. A. Nejdorfa. — Rostov-na-Donu: DGTU; Taganrog: TTI YuFU, 2007. — S. 164—168. — In Russian.

6. Kudinov, N. V. Identifikaciya parametrov oby`knovenny`x differencial`ny`x uravnenij metodom naimen`shix kvadratov na e`kvidistantnoj raznostnoj setke / N. V. Kudinov // XVIII Mezhdunarod. nauch. konf. «Matematicheskie metody` v texnike i texnologiyax»: sb. tr. — Kazan`: KGTU, 2005. — T. 2. — S. 166—168. — In Russian.

PARAMETRIC IDENTIFICATION OF CAM SYSTEM MATHEMATICAL MODEL HARDLY DETERMINABLE INVARIABLES FOR GAS MAIN SECTIONS

R. A. Neydorf, L. A. Zhuravlev, E. V. Teterevleva*, N. G. Frolov
(Don State Technical University, *Ukhta State Technical University)

The identification problem solubility of such hardly determinable physical parameters for the gas main section mathematical model as the distribution averaged along the pipeline friction coefficient, and the true mean lengthways pipeline temperature when using the isothermic model version is studied. The mathematical apparatus for such identification is developed on the basis of the patterned experiment.
Keywords: *main gas pipeline section, CAM system, mathematical model, stationary gas flow, physical constant, parametric identification.*

УДК 631.354.2.076-52

Математическая модель материальных потоков в зерноуборочном комбайне

Д. Я. Паршин, Д. Г. Шевчук
(Донской государственный технический университет)

Рассматривается взаимодействие хлебной массы и рабочих органов зерноуборочного комбайна РСМ-181 Torum-740. Предлагается вариативно-декомпозиционный метод моделирования динамики материальных потоков в комбайне. В статье описывается структурная схема модели динамики материальных потоков.
Ключевые слова: *математические модели, зерноуборочный комбайн, динамика, материальные потоки, технологический процесс.*

Введение. Для разработки эффективной системы адаптивного управления зерноуборочным комбайном необходимо контролировать параметры материальных потоков его рабочих органов. Математическая модель динамики материальных потоков позволит выявить влияние рабочих органов машины и режимов их работы на загрузку молотильно-сепарирующего устройства (МСУ), вымолот зерна и его сепарацию на различных участках технологического процесса, определить возможные способы снижения потерь зерна при уборке. В статье предлагается вариативно-декомпозиционный метод моделирования динамики материальных потоков в комбайне РСМ-181 Torum-740.

Постановка задачи исследований. Количественной характеристикой загрузки комбайна является подача хлебной массы q, а качественной — состояние подаваемой растительной массы ω: влажность и соломистость. В настоящее время нет апробированных технических средств для непосредственного измерения подачи и качественного состояния хлебной массы. Поэтому моделирование материальных потоков в зерноуборочном комбайне является перспективным направлением исследования интенсификации процессов обмолота и сепарации, а также построения адаптивных систем управления. Большинство существующих моделей материальных потоков в комбайне основаны на том, что количественные и качественные характеристики рассматриваются как постоянные величины. Кроме того, скорость движения $v_к$ комбайна также задаётся постоянной. Однако в реальных условиях эти характеристики являются переменными, имеют статистическую природу и оказывают значительное воздействие на технологический процесс. Для построения математической модели материальных потоков необходимо представить функциональную схему технологического процесса и провести её декомпозицию на последовательные этапы преобразования хлебной массы.

Вариативно-декомпозиционный метод моделирования динамики. Отличительной особенностью этого метода является реализация переменных (вариативных) качественных и количественных характеристик технологического процесса, таких как соломистость, влажность и урожайность растительной массы, скорость движения комбайна и ширина рабочего захвата жатки. Декомпозиция технологического процесса на последовательные этапы преобразования хлебной массы позволяет моделировать динамику материальных потоков в каждом рабочем органе, выявлять влияние возмущающих воздействий и конструктивных параметров на режимы работы МСУ и потери зерна. Несмотря на различный принцип действия и конструктивное исполнение рабочих органов комбайна, все они преобразуют потоки материалов, поэтому для каждого из них справедливо уравнение материального баланса [1]:

$$dM/dt = Q_1 - Q_2,$$

где M — содержание обрабатываемого материала в рабочем органе комбайна; Q_1, Q_2 — потоки материала, подводимого и отводимого от рабочего органа.

Из уравнения видно, что при неустановившемся режиме подача хлебной массы уравновешивается отводимыми продуктами обработки и увеличением или уменьшением её содержания в рабочих органах комбайна. Количество материала, содержащееся в рабочих органах при установившемся режиме работы, характеризует их удерживающую способность. Чем больше эта способность, тем равномернее работает молотильно-сепарирующее устройство (МСУ) и тем меньше потери зерна.

Каждая из операций технологического процесса характеризуется содержанием зерна: необмолоченного X_i, свободного (идущего сходом) Y_i и выделяемого через сепарирующую поверхность Z_i (рис. 1). Для любого отрезка времени движения хлебной массы обеспечивается соотношение $X_i + Y_i + Z_i = q_i = \mathrm{const}$.

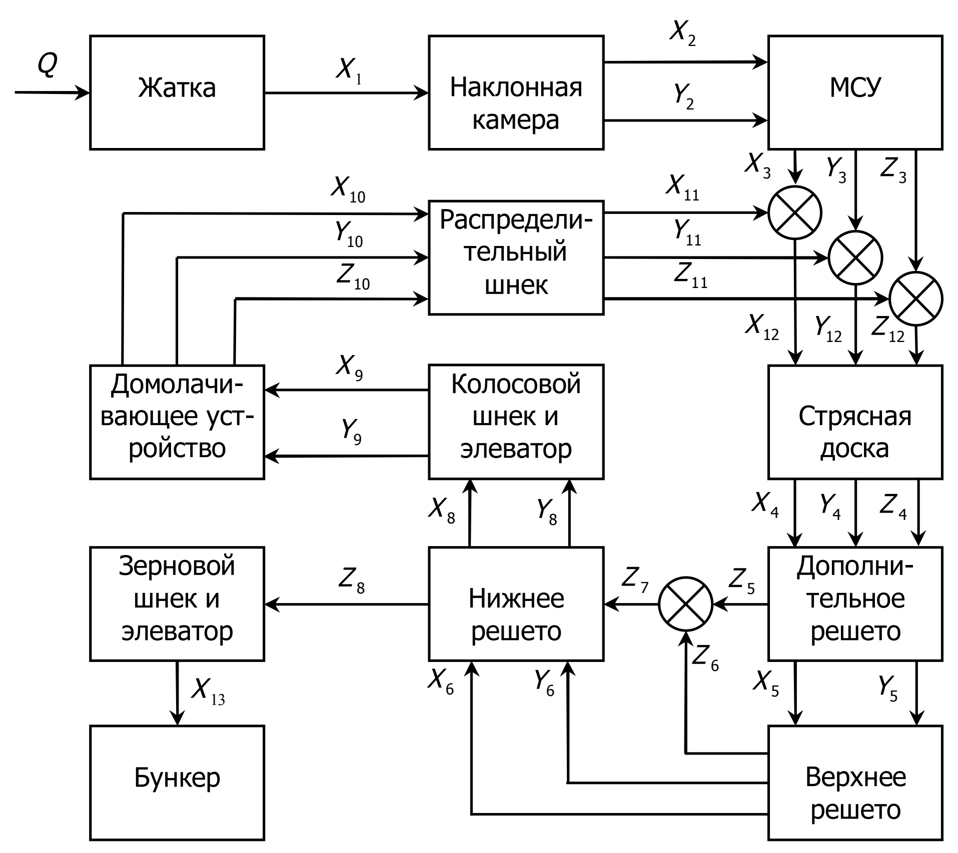


Рис. 1. Структурная схема технологического процесса

Количество материала, проходящего за единицу времени через i-е сечение потока в технологической схеме, принято за расход q_i. Составляющие параметра q_i описываются системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} dX_i/dt = -b_i X_i\,; \\ dY_i/dt = -b_i X_i - j_i Y_i\,; \\ dZ_i/dt = j_i Y_i\,. \end{cases}$$

После решения этой системы уравнений, запишем

$$\begin{cases} X_i = q_i \mathrm{e}^{-b_i t}; \\ Y_i = \left[b_i q_i / \left(j_i - b_i \right) \right] \cdot \left(\mathrm{e}^{-b_i t} - \mathrm{e}^{-j_i t} \right); \\ Z_i = \left[q_i / \left(j_i - b_i \right) \right] \cdot \left[b_i \left(\mathrm{e}^{-j_i t} - 1 \right) \left(\mathrm{e}^{-b_i t} - 1 \right) \right], \end{cases}$$

где j_i и b_i — коэффициенты, характеризующие конструктивные параметры рассматриваемого i-го рабочего органа комбайна.

Зная зависимость коэффициентов j_i и b_i от качественных характеристик технологического процесса [2], запишем:

$$X_i = X_{i-1} \mathrm{e}^{-c_i v_i - a_i l_i};$$

$$Y_i = Y_{i-1} \mathrm{e}^{-m_i L_i} + X_{i-1} \left(\mathrm{e}^{-m_i L_i} + \frac{m_i \mathrm{e}^{-c_i v_i - m_i L_i} - a_i \mathrm{e}^{-c_i v_i - a_i L_i}}{a_i - m_i} \right);$$

$$Z_i = Y_{i-1} \left(1 - \mathrm{e}^{-m_i L_i} \right) + X_{i-1} \left(1 - \mathrm{e}^{-m_i L_i} + \frac{m_i \mathrm{e}^{-c_i v_i - m_i L_i} - a_i \mathrm{e}^{-c_i v_i - a_i L_i}}{a_i - m_i} \right),$$

где c_i — коэффициент, учитывающий обмолот хлебной массы за счёт первого удара рабочего органа; v_i — скорость удара рабочего органа по массе; a_i — коэффициент, характеризующий интенсивность обмолота хлебной массы в зоне действия рабочего органа; l_i — длина зоны действия рабочего органа; m_i — коэффициент сепарации; L_i — длина сепарирующей поверхности. Коэффициенты m_i, c_i и a_i зависят от физико-механических свойств обмолачиваемой массы, конструктивных и режимных параметров рабочих органов.

Математическая модель динамики потоков. Учитывая порционность $t_ж$, вносимую транспортирующими органами в подачу хлебной массы и вороха, уравнение жатки запишем в виде

$$q_1 = K_Q \cdot \Delta Q \left(t - t_ж \right),$$

в соответствии с которым получим передаточную функцию жатки: $W_ж(s) = K_Q e^{-st_ж}$, где K_Q, $t_ж$ — коэффициент передачи и запаздывание жатки.

Поток хлебной массы из жатки транспортируется битерами наклонной камеры в МСУ. Сделав допущение, что все битеры наклонной камеры действуют одинаково на поток материала и обмолачивают хлебную массу только за счёт единичного удара $(l_2 = 0)$, запишем

$$X_2 = \left[q_1 \mathrm{e}^{-c_2 v_2} \right]^n, \; Y_2 = \left[q_1 \left(1 - \mathrm{e}^{-c_2 v_2} \right) \right]^n,$$

где n — количество битеров в наклонной камере.

Из наклонной камеры поток хлебной массы перемещается в МСУ, где происходят обмолот материала ротором и сепарация сквозь решётчатую деку. Вместе с соломой сходит часть непросеянного и необмолоченного зерна. Изменение расходов отводимых продуктов из МСУ связано с изменением подачи q_2, частоты вращения ротора $v_р$, конструктивных параметров и физико-механических свойств ω обрабатываемой массы. Необмолоченная в МСУ хлебная масса подвергается повторному обмолоту в домолачивающем устройстве. Для МСУ ($i = 3$) и домолачивающего устройства ($i = 10$) преобразования материальных потоков запишем уравнениями:

$$X_3 = X_2 \mathrm{e}^{-c_3 v_3 - a_3 l_3}; \quad X_{10} = X_9 \mathrm{e}^{-c_{10} v_{10} - a_{10} l_{10}};$$

$$Y_3 = Y_2 \mathrm{e}^{-m_3 L_3} + X_2 \left(\mathrm{e}^{-m_3 L_3} + \frac{m_3 \mathrm{e}^{-c_3 v_3 - m_3 L_3} - a_3 \mathrm{e}^{-c_3 v_3 - a_3 L_3}}{a_3 - m_3} \right);$$

$$Y_{10} = Y_9 \mathrm{e}^{-m_{10} L_{10}} + X_9 \left(\mathrm{e}^{-m_{10} L_{10}} + \frac{m_{10} \mathrm{e}^{-c_{10} v_{10} - m_{10} L_{10}} - a_{10} \mathrm{e}^{-c_{10} v_{10} - a_{10} L_{10}}}{a_{10} - m_{10}} \right);$$

$$Z_3 = Y_2\left(1 - e^{-m_3 L_3}\right) + X_2\left(1 - e^{-m_3 L_3} + \frac{m_3 e^{-c_3 v_3 - m_3 L_3} - a_3 e^{-c_3 v_3 - a_3 L_3}}{a_3 - m_3}\right);$$

$$Z_{10} = Y_9\left(1 - e^{-m_{10} L_{10}}\right) + X_9\left(1 - e^{-m_{10} L_{10}} + \frac{m_{10} e^{-c_{10} v_{10} - m_{10} L_{10}} - a_{10} e^{-c_{10} v_{10} - a_{10} L_{10}}}{a_{10} - m_{10}}\right).$$

Суммарные потоки $X_{12} = X_3 + X_{11}$, $Y_{12} = Y_3 + Y_{11}$, $Z_{12} = Z_3 + Z_{11}$ вороха из-под МСУ и домолачивающего устройства стрясной доской транспортируются в систему очистки. Для стрясной доски уравнение потоков запишем в виде:

$$X_4 = X_{12} e^{-c_4 v_4},\ Y_4 = X_{12}\left(1 - e^{-c_4 v_4}\right),\ Z_4 = Z_{12}.$$

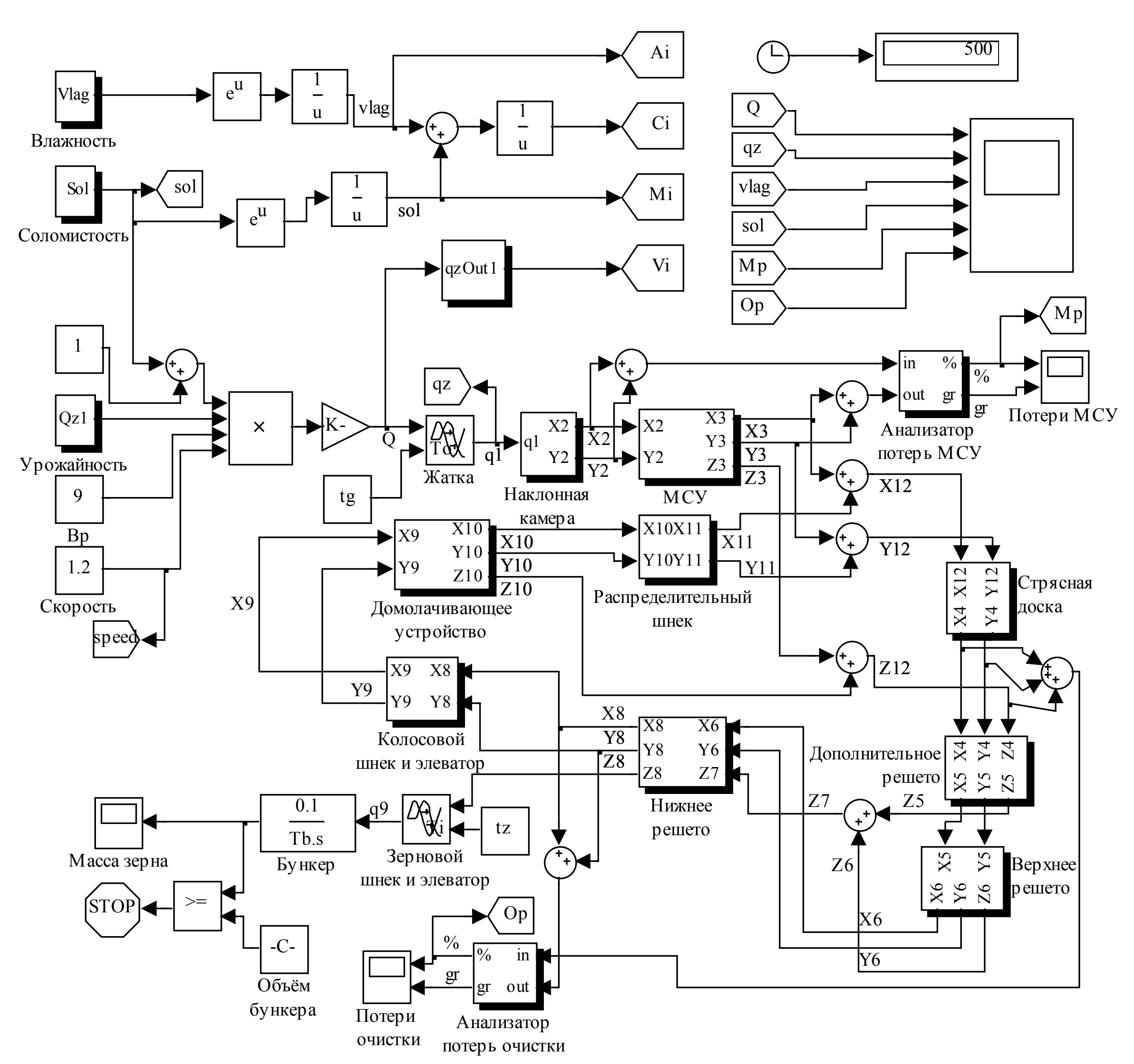


Рис. 2. Модель динамики материальных потоков в Matlab Simulink

В системе очистки происходит разделение массы на зерновой (Z_8) и незерновые (X_8 и Y_8) потоки. Материальный поток ($X_8 + Y_8$) характеризует потери в системе очистки комбайна. Пре-

небрегая малыми значениями коэффициентов $c_{5,6,8}$ и $v_{5,6,8}$, уравнения материального баланса системы очистки запишем в виде:

$$X_5 = X_6 = X_8 = X_4\,,\ Z_7 = Z_5 + Z_6\,,$$

$$Y_5 = Y_4 e^{-m_5 L_5}\,,\ Y_6 = Y_5 e^{-m_6 L_6}\,,\ Y_8 = Y_6 e^{-m_8 L_8}\,,$$

$$Z_5 = Y_4\left(1 - e^{-m_5 L_5}\right),\ Z_6 = Y_5\left(1 - e^{-m_6 L_6}\right),$$

$$Z_8 = Y_5 \frac{m_5}{m_6 - m_5}\left(e^{-m_5 L_5} - e^{-m_6 L_6}\right)\cdot\left(1 - e^{-m_8 L_8}\right).$$

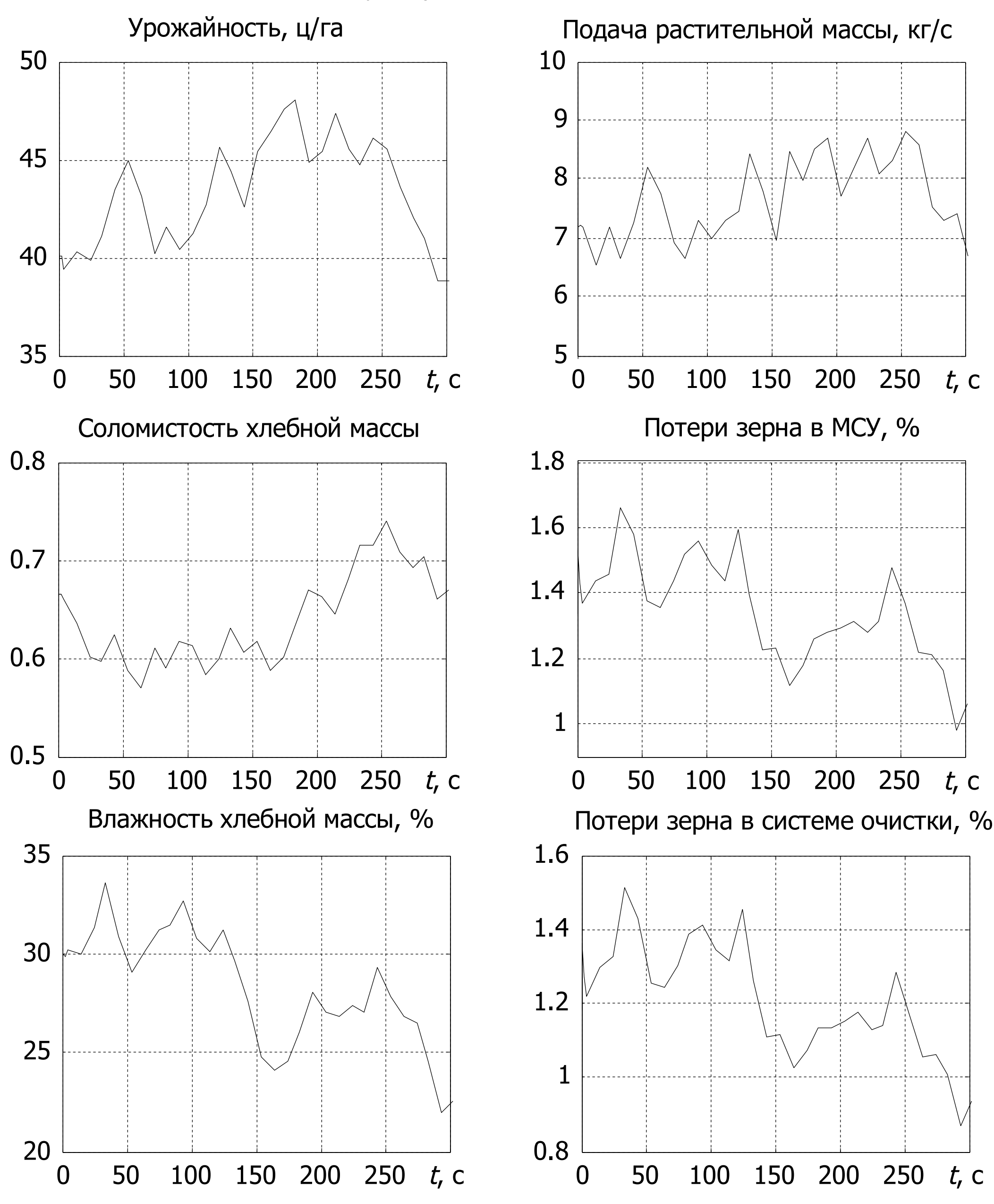


Рис. 3. Результаты моделирования

Хлебная масса перемещается от одного рабочего органа к другому с помощью шнеков и элеваторов. Полагая, что при перемещении свойства продуктов не изменяются, динамические свойства транспортирующих устройств можно выразить в операторной форме:

$$q_{13} = Z_8 e^{-st_{13}};\ X_9 = X_8 e^{-st_9};\ Y_9 = Y_8 e^{-st_9};$$
$$X_{11} = X_{10} e^{-st_{11}};\ Y_{11} = Y_{10} e^{-st_{11}};\ Z_{11} = Z_{10} e^{-st_{11}},$$

где t_9, t_{11}, t_{13} — время перемещения потока колосовым шнеком и элеватором от нижнего решета в домолачивающее устройство, распределительным шнеком из домолачивающего устройства на стрясную доску и зерновым шнеком и элеватором в бункер соответственно.

Накопительной ёмкостью комбайна является зерновой бункер, который описывается передаточной функцией бункера, устанавливающей динамическую зависимость между текущим количеством зерна в бункере и подачей:

$$W_б(s) = \frac{1}{T_б s},$$

где $T_б$ — время наполнения бункера зерном.

Разработанный вариативно-декомпозиционный метод моделирования динамики материальных потоков комбайна реализован в системе Matlab Simulink (рис. 2). Разработанная математическая модель описывает совокупность основных операций, выполняемых комбайном РСМ-181 Torum-740.

Анализ результатов моделирования (рис. 3) показывает, что полнота обмолота и сепарации зерна в МСУ комбайна имеет итерационный характер и зависит как от физико-механических свойств хлебной массы или продуктов обмолота, так и от конструктивных и режимных параметров рассматриваемого элемента системы и ему предшествующих, каждый из которых изменял состояние материала.

Выводы. Разработанный вариативно-декомпозиционный метод моделирования динамики материальных потоков реализован в системе Matlab Simulink (рис. 2). Полученная математическая модель описывает совокупность основных операций, выполняемых комбайном РСМ-181 Torum-740. Анализ результатов моделирования (рис. 3) показывает, что полнота обмолота и сепарации зерна в МСУ комбайна имеет итерационный характер и зависит как от физико-механических свойств хлебной массы или продуктов обмолота, так и от конструктивных и режимных параметров рассматриваемого элемента системы и ему предшествующих, каждый из которых изменял состояние материала.

Библиографический список

1. Зерноуборочные комбайны / Г. Ф. Серый [и др.]. — Москва: Агропромиздат, 1986. — 248 с.

2. Ляшенко, А. А. Методика и результаты исследования некоторых параметров хлебной массы при её движении в молотильном зазоре зерноуборочного комбайна / А. А. Ляшенко, О. Н. Косилов // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2008. — Т. 8, № 3. — С. 287—292.

Материал поступил в редакцию 17.01.2012.

References

1. Zernouborochny`e kombajny` / G. F. Sery`j [i dr.]. — Moskva: Agropromizdat, 1986. — 248 s. — In Russian.

2. Lyashenko, A. A. Metodika i rezul`taty` issledovaniya nekotory`x parametrov xlebnoj massy` pri eyo dvizhenii v molotil`nom zazore zernouborochnogo kombajna / A. A. Lyashenko, O. N. Kosilov // Vestnik Don. gos. texn. un-ta. — 2008. — T. 8, № 3. — S. 287—292. — In Russian.

MATHEMATICAL MODEL OF MATERIAL FLOWS IN GRAIN COMBINE

D. Y. Parshin, D. G. Shevchuk
(Don State Technical University)

The interaction of the grain mass and operative parts of RSM-181 "Torum-740" combine is observed. The variable-decomposition simulation technique for the material flow dynamics in the grain combine is offered. The operating process structure chart of the material flow dynamics are described.

Keywords: *mathematical models, grain combine, dynamics, material flows, operating procedure.*

УДК 621.9.06:628.5

Проектирование малошумной конструкции оборудования центробежно-ротационного наклёпа

М. Е. Попов, И. В. Богуславский
(Донской государственный технический университет)

Рассматривается конструкция оборудования центробежно-ротационного наклёпа длинномерных изделий. Показана высокая эффективность в снижении уровней шума в рабочей зоне до предельно допустимых значений.
Ключевые слова: *проектирование, малошумные конструкции, оборудование наклёпа.*

Введение. Существующая система шумозащиты оборудования для центробежно-ротационного наклёпа хотя и обеспечивает в производственном помещении санитарные нормы шума [1], но обладает рядом существенных недостатков:

- ограждение охватывает всю несущую систему оборудования и занимает значительную часть производственной площади;
- крышка ограждения закрывает органы управления приводом подач и имеет значительный размер, что ограничивает высоту производственного помещения;
- такая система имеет значительную металлоёмкость и требует большого количества звукопоглощающих материалов, что приводит к её большой стоимости.

Результаты исследований. Компактности, эргономичности и экономичности ограждающей звукозащитной конструкции препятствует сама компоновка токарно-винторезного станка и, в первую очередь, конструкция фартука суппорта и упрочнителя, далеко выходящего за торец станины, что не позволяет установить систему шумозащиты непосредственно на направляющие станка.

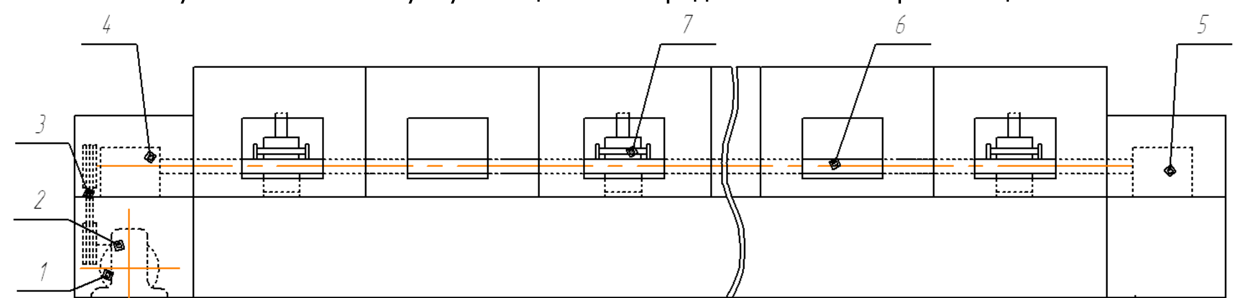


Рис. 1. Общий вид станка для центробежно-ротационного наклёпа: 1 — двигатель привода главного движения; 2 — червячный редуктор; 3 — ремённая передача; 4 — шпиндельная бабка; 5 — задняя бабка; 6 — упрочняемое изделие; 7 — звукоизолирующее ограждение

Низкие уровни вибраций на несущей системе оборудования при ротационном наклёпе позволяют отказаться от литой чугунной станины и использовать станину сварную из листовой стали (стр. 3) толщиной 10—12 мм.

Общий вид предложенной компоновки станка для центробежно-ротационного наклёпа приведён на рис. 1.

В левой тумбе станины монтируется привод вращения бабки изделия, состоящий из асинхронного электродвигателя мощностью 5,5 кВт с частотой вращения 750 об/мин, ремённой передачи с передаточным числом u = 3 и червяного редуктора с передаточным числом u = 50. В качестве бабки изделия используется шпиндельная бабка токарно-револьверного станка (например, 1Д325), в которой отсутствуют зубчатые колёса и опоры качения шпинделя заменены на опоры

скольжения (рис. 2), что допустимо вследствие малой величины скорости скольжения (фактическая скорость скольжения составляет $0{,}5 \cdot 10^{-2}$ м/с).

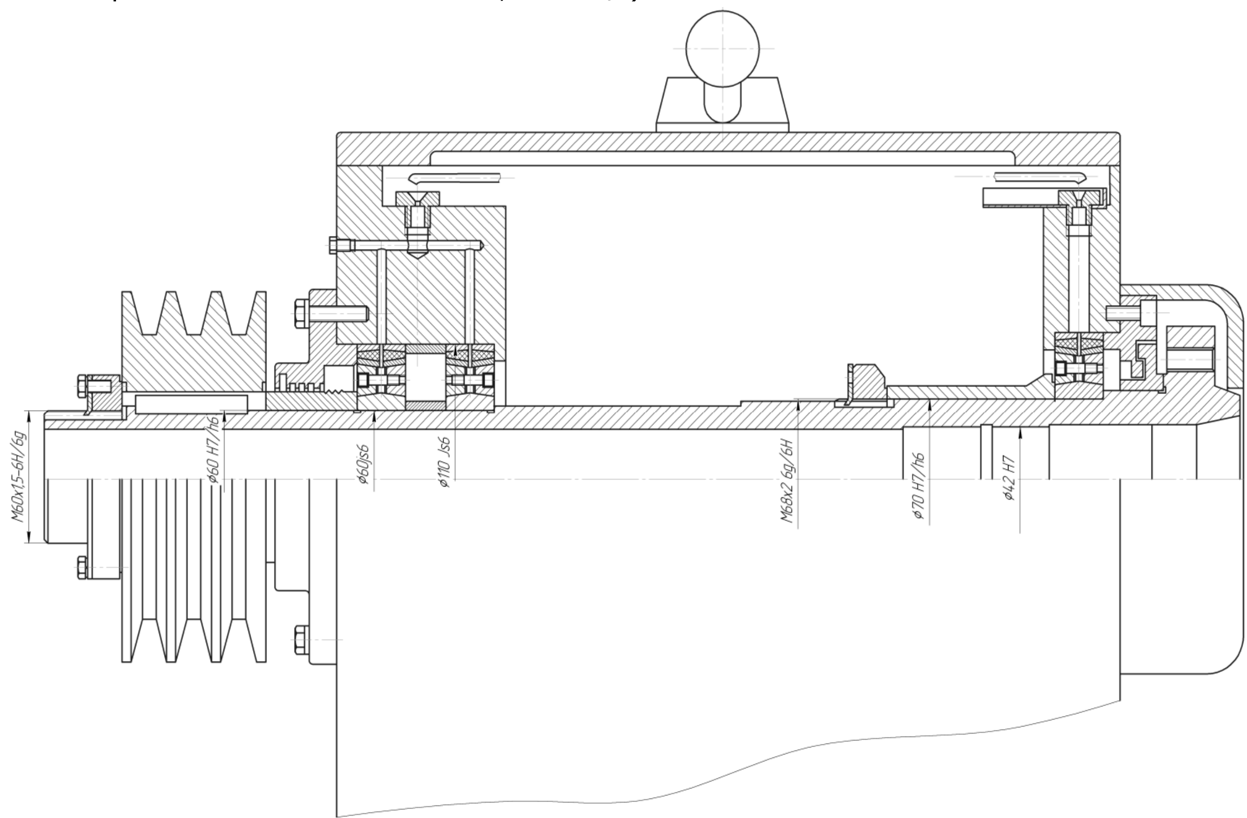


Рис. 2. Шпиндельная бабка

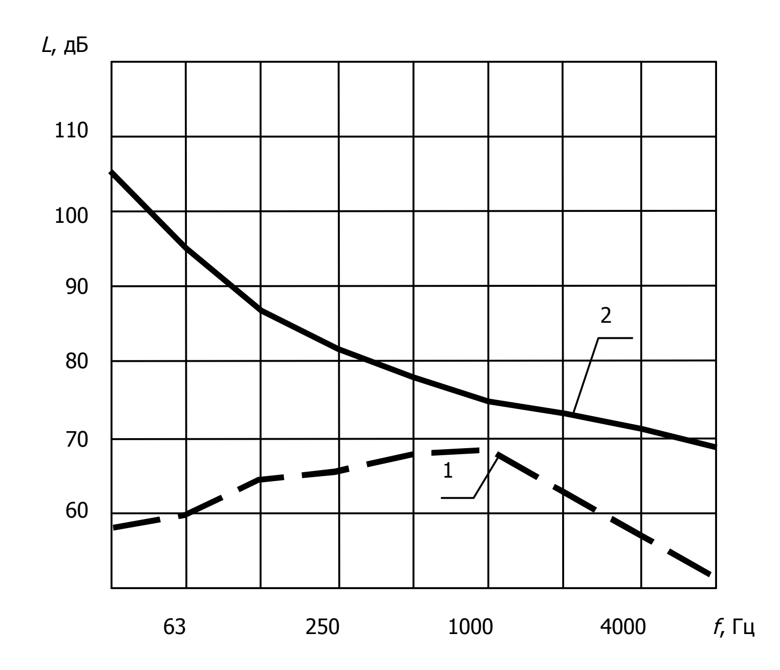


Рис. 3. Спектр шума станка на холостом ходу: 1 — холостой ход; 2 — норматив

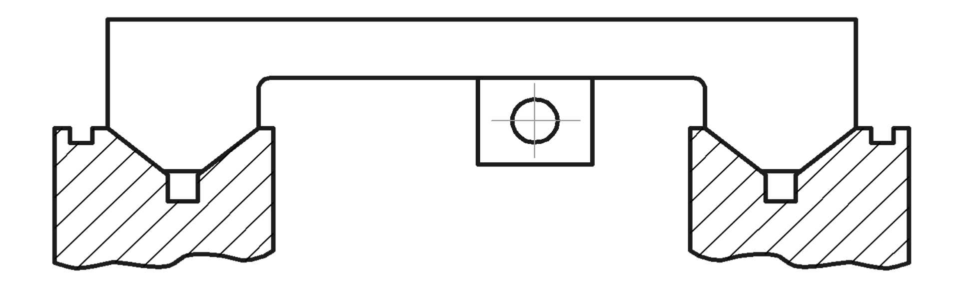


Рис. 4. Направляющие станины

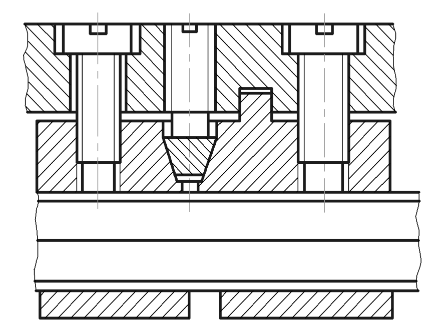


Рис. 5. Схема регулирования зазора между винтом и маточной гайкой

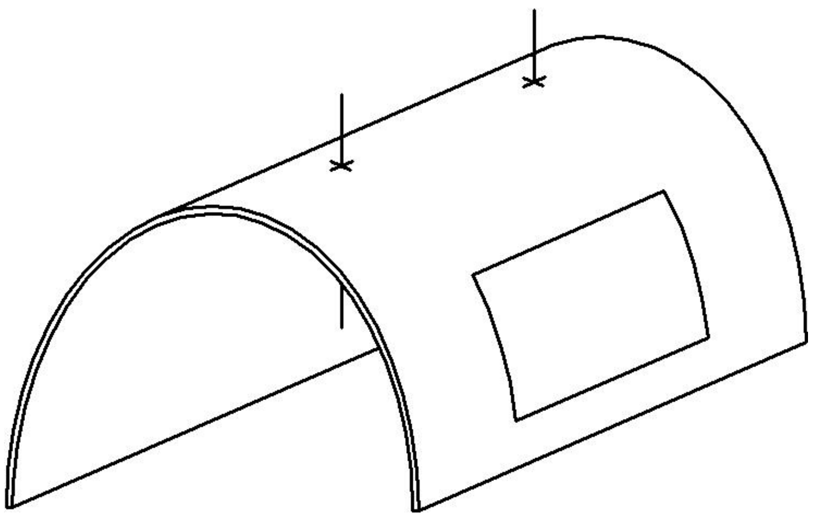


Рис. 6. Схема системы шумозащиты

Такая конструкция опор шпинделей проверена на станке для заделки тросов, показала высокую эффективность в снижении шума, излучаемого корпусной деталью. Необходимость снижения шума самой шпиндельной бабки объясняется тем, что уровни шума базовой конструкции станка на холостом ходу превышают предельно допустимые значения в шестой октаве со среднегеометрической частотой 1000 Гц, а в пятой октаве со среднегеометрической частотой 500 Гц находятся практически на предельно допустимом значении.

Смазка подшипников передней и задней опор шпинделя производится стандартным способом. Наиболее рациональной является конструкция подшипников скольжения с плавающим вкладышем. Осевая нагрузка воспринимается конической поверхностью вкладыша. Предлагаемая конструкция обеспечивает ремонтопригодность узла. Подшипник состоит из внутреннего и на-

ружного колец, которые изготавливаются из термообработанной подшипниковой стали типа ШХ15. Между кольцами располагается плавающий конический вкладыш из бронзы С30. Вкладыш состоит из двух колец, стягиваемых тремя шпильками, позволяющими регулировать зазор в подшипнике, возникающий в результате износа. Наружное кольцо имеет отверстие для подачи смазки в зону трения. Оно представляет собой резинометаллический сэндвич. В качестве упругого слоя использован полиуретан СКУ-ПФЛ, играющий роль барьера виброизоляции. Замена подшипников обеспечила выполнение санитарных норм шума самого станка (рис. 3). Направляющие станины выполнены призматическими (рис. 4).

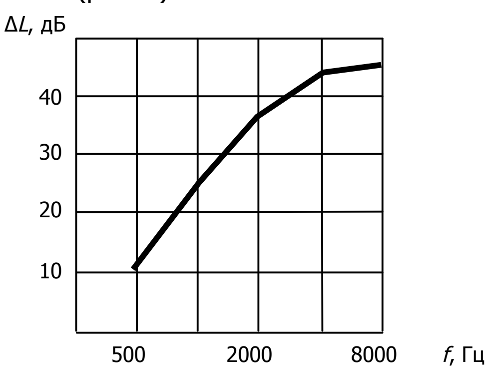


Рис. 7. Требуемые величины снижения шума

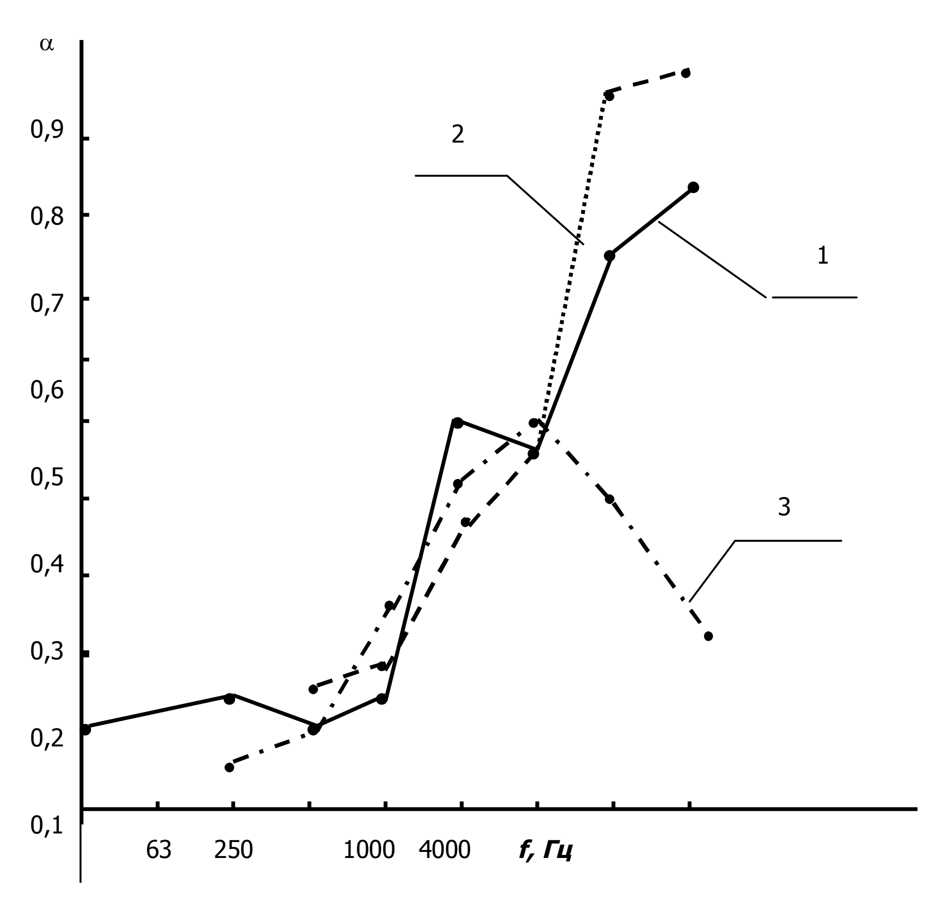


Рис. 8. Коэффициенты звукопоглощения войлока толщиной 15 мм (1), пенополиэтилена и прессованного полотна толщиной 3 мм (2) и губчатой резины (3)

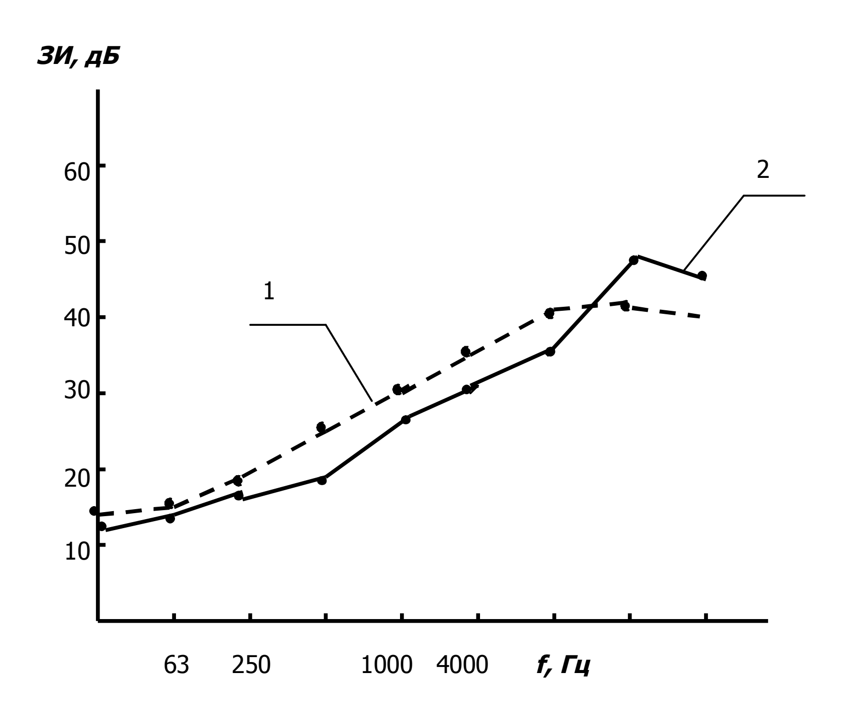


Рис. 9. Звукоизолирующие (ЗИ) свойства ограждения:
1 — экспериментальные данные; 2 — расчётные данные

Стол станка уже направляющих на 12—15 мм с каждой стороны. Ширина станины и стола выбрана с таким расчётом, чтобы противовес упрочнителя не выходил за их габариты. Ходовой винт вследствие значительной длины выполнен составным, расположен внутри станины и крепится к станине на кронштейнах. Гайка крепится непосредственно к столу (рис. 5).

Гайка состоит из двух частей. Одна закреплена неподвижно, а другая может смещаться в осевом направлении при помощи винта и клина. Со стороны основания станина герметизирована поддоном.

Привод подач включает высокомоментный двигатель постоянного тока, соединяемый с ходовым винтом торцевой муфтой. Корпус двигателя крепится непосредственно на стенку станины внутри правой ниши.

Система шумозащиты также представляет собой арочную конструкцию, состоящую из нескольких секций (рис. 6) длиной 3 м каждая. Секции устанавливаются в пазы станины.

Поскольку процесс упрочнения занимает до 8 часов, секции целесообразно изготавливать съёмными. Высота секции определяется упрочнителем, зазор между внутренней поверхностью ограждения и упрочнителем не должен превышать 8—10 мм. Левая крайняя секция с торца имеет крышку для замены шкива ремённой передачи бабки изделия. Правая крайняя секция со стороны задней бабки снабжена крышкой для регулировки заднего центра. Такая конструкция обеспечивает практически полную герметизацию. Несущая часть ограждения выполнена из листовой стали толщиной 1,2 мм и с внутренней поверхности облицована звукопоглощающим материалом. Со стороны оператора предусмотрены открывающиеся окна из поликарбонатного стекла толщиной 15 мм.

Расчёты шума, выполненные согласно разработанной методике, определили выбор материалов (и их толщины), обеспечивающих необходимые параметры звукопоглощения и звукоизоляции по критерию выполнения требуемых величин снижения шума (рис. 7).

Основное внимание уделено частотному диапазону 1000—3000 Гц, в котором для выполнения санитарных норм шума необходимо обеспечить акустическую эффективность системы шумозащиты 25—45 дБ.

Стальная часть звукозащитного ограждения с наружной стороны облицована губчатой резиной 8470, имеющей малое значение плотности $\rho = 0{,}17 \cdot 10^3$ *кг / м*^{3} и достаточно высокий коэффициент потерь колебательной энергии $\eta = 0{,}46$ толщиной 2—3 мм. С внутренней стороны стальная часть ограждения облицована пенополиэтиленом с прессованным полотном (толщина 3 мм), т. к. этот материал обладает наиболее высокими звукопоглощающими свойствами в интервале частот 2000—8000 Гц.

Наиболее слабым элементом системы шумозащиты являются смотровые окна. Поэтому для обеспечения требуемого снижения шума смотровые окна выполнены как двойное остекление толщиной 3 мм с воздушным промежутком 5 мм.

Расчётные и экспериментальные данные звукоизолирующих свойств ограждения приведены на рис. 9.

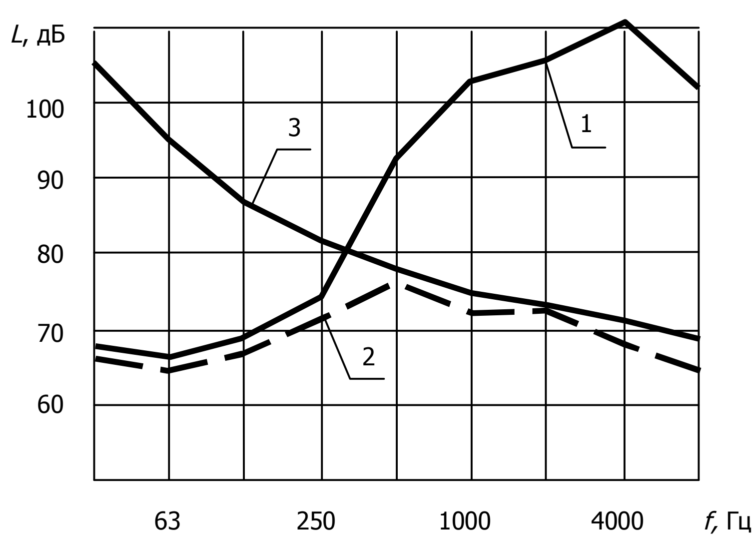


Рис. 10. Спектры шума на рабочем месте: 1 — спектр шума работающей установки; 2 — спектр шума установки с звукоизолирующим ограждением; 3 — норматив шума

Заключение. Таким образом, установка разработанной системы шумозащиты обеспечила выполнение санитарных норм шума в производственном помещении даже без акустической облицовки стен и потолка, что показано на рис. 10.

Библиографический список

1. Стрельченко, С. Г. Виброакустические расчёты и проектирование систем шумозащиты при центробежно-ротационном наклёпе длинномерных заготовок: монография / С. Г. Стрельченко, С. А. Шамшура, А. Н. Чукарин. — Ростов-на-Дону: Изд. центр Дон. гос. техн. ун-та, 2005. — 164 с.

Материал поступил в редакцию 26.01.2012.

References

1. Strel`chenko, S. G. Vibroakusticheskie raschyoty` i proektirovanie sistem shumozashhity` pri centrobezhno-rotacionnom naklyope dlinnomerny`x zagotovok: monografiya / S. G. Strel`chenko,

S. A. Shamshura, A. N. Chukarin. — Rostov-na-Donu: Izd. centr Don. gos. texn. un-ta, 2005. — 164 s. — In Russian.

LOW-NOISE AXIFUGAL ROTATING HARDENING MACHINERY DESIGN

M. E. Popov, I. V. Boguslavskiy
(Don State Technical University)

The axifugal rotating hardening machinery construction of the long components is considered. High efficiency in noise abatement in the operating place up to the admissible limit values is shown.
Keywords: *constructional design, low-noise constructions, hardening machinery.*

УДК 631.01:531.12

Постановка задачи о малых колебаниях систем приводов уборочных сельскохозяйственных машин как неголономных систем

В. В. Радин, И. А. Хозяев
(Донской государственный технический университет)

Даны определения, необходимые для построения теоретической модели, описывающей колебания элементов приводов сложных уборочных машин. Кинематические передачи таких машин обусловливают необходимость рассмотрения малых колебаний как n-массы неголономной системы первого порядка. Введено понятие стационарного состояния и реализовано принципиальное положение Боттема о качественном изменении величины потенциальной энергии в нуле.

Ключевые слова: *динамика привода, неголономная связь, колебания, модель.*

Введение. Для приводов уборочных сельхозмашин, кинематические трансляторы которых реализуются с помощью клиноременных и гидравлических передач, важно так построить аналитические модели движения системы рабочих органов, чтобы можно было с их помощью исследовать малые колебания около состояния установившегося движения. Для чего надо дать некоторые новые определения — они рассмотрены ниже.

Постановка задачи. Рассматривается n-массовая механическая система, на которую действуют в общем случае консервативные и диссипативные силы. Первые не изменяют величину суммы кинетической T и потенциальной V энергии системы. В приводах уборочных сельхозмашин они обусловлены крутильной и изгибной жёсткостью валов, продольной и поперечной жёсткостью ремней и перетечками жидкости в гидромоторах и насосах, невосполнимым отставанием ведомых элементов от ведущих. Эти обобщённые силы выражаются так:

$$Q_i^{П} = -\frac{\partial V}{\partial q}, \quad i = \overline{1, n},$$

где q_i — обобщённые координаты системы.

Диссипативные силы уменьшают энергию $(T+V)$ системы. Они обусловлены в приводах уборочных машин силами вязкого трения и выражаются следующим образом:

$$Q_i^{\Phi} = -\frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_i}, \quad i = \overline{1, n},$$

где $\dot{q}_i$ — обобщённые скорости системы, Φ — функция рассеяния (обычно описываемая функцией Рэлея).

На систему привода уборочной сельхозмашины действуют также внешние возмущающие силы полезного и вредного сопротивления, движущие силы, обусловленные различными техпроцессами, которые выражаются через независимые μ и зависимые h обобщённые координаты, обобщённые скорости и время:

$$Q_i^* = F\left(Q_\mu^*\left(q_\mu, \dot{q}_\mu, t\right), Q_h^*\left(q_n, \dot{q}_h, t\right)\right), \quad \mu = \overline{1, P}; \quad h = \overline{(P+1), n}; \quad i = \mu + P.$$

Таким образом, выражение для обобщённых сил в приводах уборочных машин имеет вид:

$$Q_i = Q_i^{П} + Q_i^{\Phi} + Q_i^*. \tag{1}$$

Если составляющие $Q_i^{П}$ и Q_i^{Φ} в выражении (1) положить равными нулю, а $Q_i^* \neq 0$, то мы приходим к исследованию основных (больших) движений неголономной системы, при наличии в ней таких связей, которые накладывают ограничения на скорости обобщённых координат. Если

$Q_i^П$ и $Q_i^Ф$ не равны нулю, мы приходим к исследованию малых колебаний системы (возмущённого движения) относительно основного.

В теории колебаний неголономных систем выделяют малые колебания вокруг положения равновесия и вокруг состояния основного (установившегося) движения [1]. Для приводов уборочных сельхозмашин наибольший интерес представляют колебания около состояния установившегося движения, поскольку это и есть адекватное реальным режимам рабочее состояние всех передач.

Записать уравнение движения приводов уборочных сельхозмашин с обобщёнными силами (1) не удаётся, поскольку нельзя описать неголономные связи при основном и возмущённом движении едиными неинтегрируемыми соотношениями, так как в основном движении дифференциальные уравнения связей могут быть не только линейными, но и нелинейными первого порядка и даже второго порядка [2].

Состояние установившегося движения. Определим, следуя А. Н. Обморшеву [1], из всего многообразия состояний установившегося движения только такие, которые соответствуют стационарным движениям, т. е. имеем:

$$\dot{q}_\mu = 0; \quad \dot{q}_h = \text{const}, \quad \mu = \overline{1,P}; \quad h = \overline{1,S}; \quad i = \overline{1,P+S}; \quad P + S = n \tag{2}$$

Полагаем также для малых колебаний, что

$$Q_i^* = 0, \quad Q_i^П \neq 0; \quad Q_i^Ф \neq 0, \tag{3}$$

т. е. не пренебрегаем упругими свойствами и диссипативными силами в кинематических трансляторах уборочных сельхозмашин, а в качестве основного невозмущённого движения

$$\overline{q}_i = f(t); \quad i = \overline{1,n} \tag{4}$$

рассматриваем стационарное в общем смысле или в смысле Раута — Кухтенко [2]. Движение, определяемое при каких-то иных начальных условиях, например,

$$\overline{q}_i = \overline{q}_i - u_i, \tag{5}$$

называется возмущённым. Изменения начальных условий называется возмущениями, а разность координат u_i в том и другом движении — вариациями этих координат [1].

Уравнения в вариациях для возмущённого движения составляют суть аналитической модели малых колебаний неголономных систем приводов зернокомбайнов около заданного состояния установившегося движения.

Принципиальное отличие динамики малых колебаний неголономных систем от колебаний голономных систем исследовано в работах отечественных учёных [1—3]. Однако впервые его отметил голландский учёный — механик Боттема [4]. В 1949 году он установил, что при наложенных на систему линейных неголономных связях первого порядка потенциальную энергию системы V нельзя вычислять только как квадратичную форму от вариаций обобщённых координат, т. е. использовать лишь только третий член в разложении потенциальной энергии в ряд Маклорена. Действительно, уравнения движения системы с v линейными неголономными связями вида:

$$\sum_{i=1}^{n} A_{hi}(q_1,\ldots,q_{n-v})\dot{q}_i = 0, \quad h = \overline{1,v}; \quad i = \overline{1,n}; \quad v < n \tag{6}$$

и неполной диссипацией, когда функция Рэлея

$$\Phi = \frac{1}{2}\sum_{\mu,k=1}^{p} \beta_{\mu k}(q_1,\ldots,q_{n-v})\dot{q}_\mu \dot{q}_k, \quad p = n - v \tag{7}$$

не содержит скоростей, соответствующих циклическим (зависимым в данном случае) координатам, имеет вид:

$$\Phi = \frac{1}{2}\sum_{\mu,k=1}^{p} \beta_{\mu k}(q_1,\ldots,q_{n-v})\dot{q}_\mu \dot{q}_k, \quad p = n - v \tag{7}$$

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial H}{\partial \dot{q}_\mu}+\sum_{\mu,k=1}^{p} B_{\mu k}\left(q_1,....,q_{n-v}\right)\dot{q}_k-\frac{\partial H}{\partial q_\mu}=\sum_{h=1}^{v}\lambda_h A_{h\mu}, \tag{8}$$

$$k,\mu=\overline{1,n-v=p};\quad h=\overline{1,v}.$$

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial H}{\partial \dot{q}_\chi}=\sum_{\chi=p+1}^{p+v}\lambda_h A_{h\chi},\quad \chi=\overline{p+1,p+v}<n, \tag{9}$$

где $H=T-V$ — функция Лагранжа, λ_h — множители Лагранжа, $A_{h\mu}$ — функция неголономных связей.

Уравнения движения для голономных систем с функцией Лагранжа H, у которой $n-m$ последних координат являются циклическими, а функция Рэлея

$$\Phi=\frac{1}{2}\sum_{i,j=1}^{m} B_{i,j=1}\left(q_1,...,q_m\right)\dot{q}_i\dot{q}_j$$

характеризует неполную диссипацию этой системы, имеют вид:

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{d}{dt}\dfrac{\partial H}{\partial \dot{q}_j}+\sum\limits_{i,j=1}^{m} B_{ij}\left(q_1,\ldots,q_m\right)\dot{q}_i-\dfrac{\partial H}{\partial q_j}=0, \\ \qquad\qquad j=1,2,\ldots,m \\ \dfrac{d}{dt}\dfrac{\partial H}{\partial \dot{q}_{m+k}}=0, \qquad\qquad k=1,2,\ldots,n-m \end{array}\right\}. \tag{10}$$

По определению, стационарным называется такое движение, при котором сохраняют постоянное значение нециклические координаты и циклические скорости, т. е. для неголономной системы справедливы соотношения:

$$q_\mu^0=\text{const},\quad \dot{q}_\mu^0=0,\quad \dot{q}_h^0=\text{const},\quad \mu=\overline{1,p},\quad h=\overline{1,v},\quad v<n;$$

а для голономной системы стационарные условия имеют вид:

$$q_j^0=\text{const},\quad \dot{q}_j^0=0,\quad \dot{q}_k^0=\text{const},\quad j=\overline{1,m},\quad k=1,n-m,\quad m<n.$$

Подставляя эти соотношения соответственно в выражения (6) — (9) и в систему (10), получаем для голономной системы в состоянии установившегося движения:

$$\frac{\partial H}{\partial q_i}=0,\qquad j=\overline{1,m}.$$

Откуда следует, что для системы роторных масс привода зерноуборочного комбайна с голономными связями

$$\frac{\partial V\left(0,\ldots,0\right)}{\partial q_j}=0, \tag{11}$$

а для неголономной системы уравнения стационарных движений имеют вид:

$$\left\{\begin{array}{l} \dfrac{\partial H}{\partial q_\mu}+\sum\limits_{h=1}^{v}\lambda_h^0 A_{h\mu}^0=0 \\ \sum\limits_{\chi=p+1}^{p+v}\lambda_h^0 A_{h\chi}^0=0 \qquad \chi=\overline{p+1,p+v},\quad v<n,\quad \mu=\overline{1,p},\quad p<v. \\ \sum\limits_{\chi=p+1}^{p+v}A_{h\chi}^0\dot{q}_\chi^0=0 \end{array}\right. \tag{12}$$

Из первого уравнения системы (12) следует, что для системы роторных масс привода зернокомбайна с неголономными связями первого порядка

$$\frac{\partial V(0,\ldots,0)}{\partial q_\mu} = \sum_{h=1}^{v} \lambda_h^0 A_{h\mu}^0 \quad \mu = \overline{1,p}; \quad h = \overline{1,v}, \quad v < n. \qquad (13)$$

Здесь параметры с нулём в индексе означают выражения для λ_h и $A_{h\mu}$ после подстановки в них стационарных условий.

Из уравнений (11) и (13) следует, во-первых, что неголономные связи качественно меняют содержание потенциальной энергии в состоянии установившегося движения (т. е. основного, невозмущённого движения) по сравнению с голономными связями, и, во-вторых, устанавливаем справедливость утверждения Боттема. В самом деле, в теории колебаний, учитывая что величины q_i и $\dot{q}_i$ $\left(i = \overline{1,n}\right)$ являются малыми, уравнения (8) — (9) и (10) упрощают, отбрасывая члены второго и выше порядков малости относительно q_i и $\dot{q}_i$. Для чего проводят разложение каждого слагаемого в уравнениях в ряды Маклорена, т. е. разлагают $T, V, B_{\mu k}, \lambda_h, A_{h\mu}$ для неголономной системы и $T, V, B_{\mu k}$ для голономной системы по степеням $q_\mu, \dot{q}_\mu$ и $q_j, \dot{q}_j$. Для потенциальной энергии

$$V(q_i) = V(0,\ldots,0) + \sum_{i=1}^{n}\left[\frac{\partial H}{\partial q_i}\right] q_i + \frac{1}{2}\sum_{i,j=1}^{n}\left[\frac{\partial^2 V}{\partial q_i q_j}\right] q_i q_j + \ldots \qquad (14)$$

Для голономной системы заключаем, что потенциальная энергия

$$V(q_i) = \frac{1}{2}\sum_{j=i=1}^{n}\left[\frac{\partial^2 V}{\partial q_i q_j}\right]_0 q_i q_j$$

задаётся квадратичной формой от обобщённых координат системы, поскольку первый член в выражении (14) отбрасываем, так как он не влияет на уравнения движения [10], а второй член равен нулю на основании уравнения (11).

Для неголономной системы второй член в разложении потенциальной энергии (14) не равен нулю на основании соотношения (13).

Выводы. 1. Смысл утверждения Боттема состоит в том, что неголономные связи при малых колебаниях качественно изменяют содержание потенциальной энергии системы в нуле.

2. Новое определение потенциальной энергии неголономной системы привода уборочной машины приводит к появлению нулевых скоростей характеристического уравнения малых колебаний привода уборочной машины.

3. Матрица характеристических уравнений малых колебаний системы привода рабочих органов уборочной машины становится несимметричной, что свидетельствует о возможной потере устойчивости движения.

Библиографический список

1. Обморшев, А. Н. Колебания и устойчивость неголономных систем / А. Н. Обморшев // Механика. — Москва: Оборонгиз, 1955. — С. 72—97.

2. Кухтенко, А. И. О теории малых колебаний и устойчивости движения систем с неголономными связями / А. И. Кухтенко // Прикладная механика. — Киев: АН УССР, 1995. — Т. 1. — Вып. 2. — С. 204—223.

3. Неймарк, Ю. И. Динамика неголономных систем / Ю. И. Неймарк, Н. А. Фуфаев. — Москва: Наука, 1967. — 519 с.

4. Bottema, O. On the small Oscillations of Non-holonomic system / O. Bottema // Iuagations Mathematical. — Amsterdam, 1949. — Vol. 11. — F. 4. — P. 197—212.

Материал поступил в редакцию 26.12.2011.

References

1. Obmorshev, A. N. Kolebaniya i ustojchivost` negolonomny`x sistem / A. N. Obmorshev // Mexanika. — Moskva: Oborongiz, 1955. — S. 72—97. — In Russian.

2. Kuxtenko, A. I. O teorii maly`x kolebanij i ustojchivosti dvizheniya sistem s negolonomny`mi svyazyami / A. I. Kuxtenko // Prikladnaya mexanika. — Kiev: AN USSR, 1995. — T. 1. — Vy`p. 2. — S. 204—223. — In Russian.

3. Nejmark, Yu. I. Dinamika negolonomny`x sistem / Yu. I. Nejmark, N. A. Fufaev. — Moskva: Nauka, 1967. — 519 s. — In Russian.

4. Bottema, O. On the small Oscillations of Non-holonomic system / O. Bottema // Iuagations Mathematical. — Amsterdam, 1949. — Vol. 11. — F. 4. — P. 197—212.

TASK DESCRIPTION ON SMALL OSCILLATIONS OF AGRICULTURAL HARVESTER DRIVE SYSTEMS AS NON-HOLONOMIC SYSTEMS

V. V. Radin, I. A. Khozyayev
(Don State Technical University)

The definitions necessary for building the theoretical model describing the oscillations of the combine drive components are given. Power transmissions of such machines cause the necessity of considering small oscillations as n-mass of the first-order non-holonomic system. The stationary condition concept is introduced. Bottema's key thesis on the quality change of the potential energy value in zero is realized.
Keywords: *drive dynamics, nonholonomic constraint, oscillations, model.*

УДК 621.91:621.793:669.018.45

Об эффективности управления электрическими процессами в условиях резания

А. А. Рыжкин, В. Э. Бурлакова
(Донской государственный технический университет)

Рассмотрено тепловое действие термотока при резании. В узком диапазоне подач при заданной скорости резания определена область отсутствия во внутренней электрической цепи уравнительного тока.
Ключевые слова: *термоЭДС, скорость резания, изнашивание, тепловое действие термотока, коэффициент Томсона, режущий инструмент.*

Введение. В условиях резания в общем случае из-за неодинаковых температур (термоЭДС) на передней ($E_П$) и задней ($E_З$) поверхностях во внутренней цепи возможно протекание сильных уравнительных токов, определяемых разностью термоЭДС на контактных площадках. Условие $E_П = E_З$, при котором уравнительный ток равен нулю, выполняется при критической подаче, определяемой методом разрезного резца при варьировании величиной скорости резания и подачи (рис. 1).

Оптимальной подаче, зависящей от скорости резания, соответствуют точки пересечения кривых $E_П$ и $E_З$: чем больше скорость, тем меньше величина подачи, при которой обеспечивается стабилизация теплового режима на передней и задней поверхностях резца. В условиях обработки резанием устранить внутреннюю электрическую цепь и обеспечить отсутствие в ней уравнительного тока ($I_У$) можно только при определённых условиях резания, работая лишь в узком диапазоне подач для заданной скорости резания.

Применительно к изнашиванию контактных площадок металлорежущих инструментов, действие объёмных источников тепла Томсона необходимо рассматривать с учётом протекания термотока минимум через две поверхности — переднюю и заднюю. Однако для качественной оценки теплового действия термотока, как и в условиях трения, при резании необходимо знать знак и величину коэффициента Томсона материалов инструмента и детали и направление тока. В связи с этим целью настоящего исследования является изучение действия объёмных источников тепла Томсона и определение знака и величины коэффициента Томсона материалов инструмента и детали.

Электрические процессы в условиях резания. Рассмотрим тепловое действие термотока при резании для двух случаев.

1. Контактные поверхности резца имеют одинаковую температуру (термоЭДС); зона резания как источник электрической энергии замкнута на внешнее сопротивление *R*, величина которого определяет ток I во внешней цепи; уравнительный ток во внутренней цепи отсутствует.

Направление тока I зависит от материалов инструмента и детали. На рис. 2 показано направление протекания токов через контакт для твёрдого сплава (рис. 2, *а*) и быстрорежущей стали (рис. 2, *б*). Токи I_1 и I_2 через переднюю и заднюю поверхности соответственно для принятых условий принимаются одинаковыми по величине.

2. Внешняя цепь термотока отсутствует, но уравнительный ток $I_У$ имеет конечную величину и течёт в круговом контуре от передней поверхности к задней, если $E_П > E_З$ (рис. 3, *а*), или от задней поверхности к передней, если $E_З > E_П$ (рис. 3, *б*). Очевидно, в данном случае полярность пары «резец-деталь» значения не имеет.

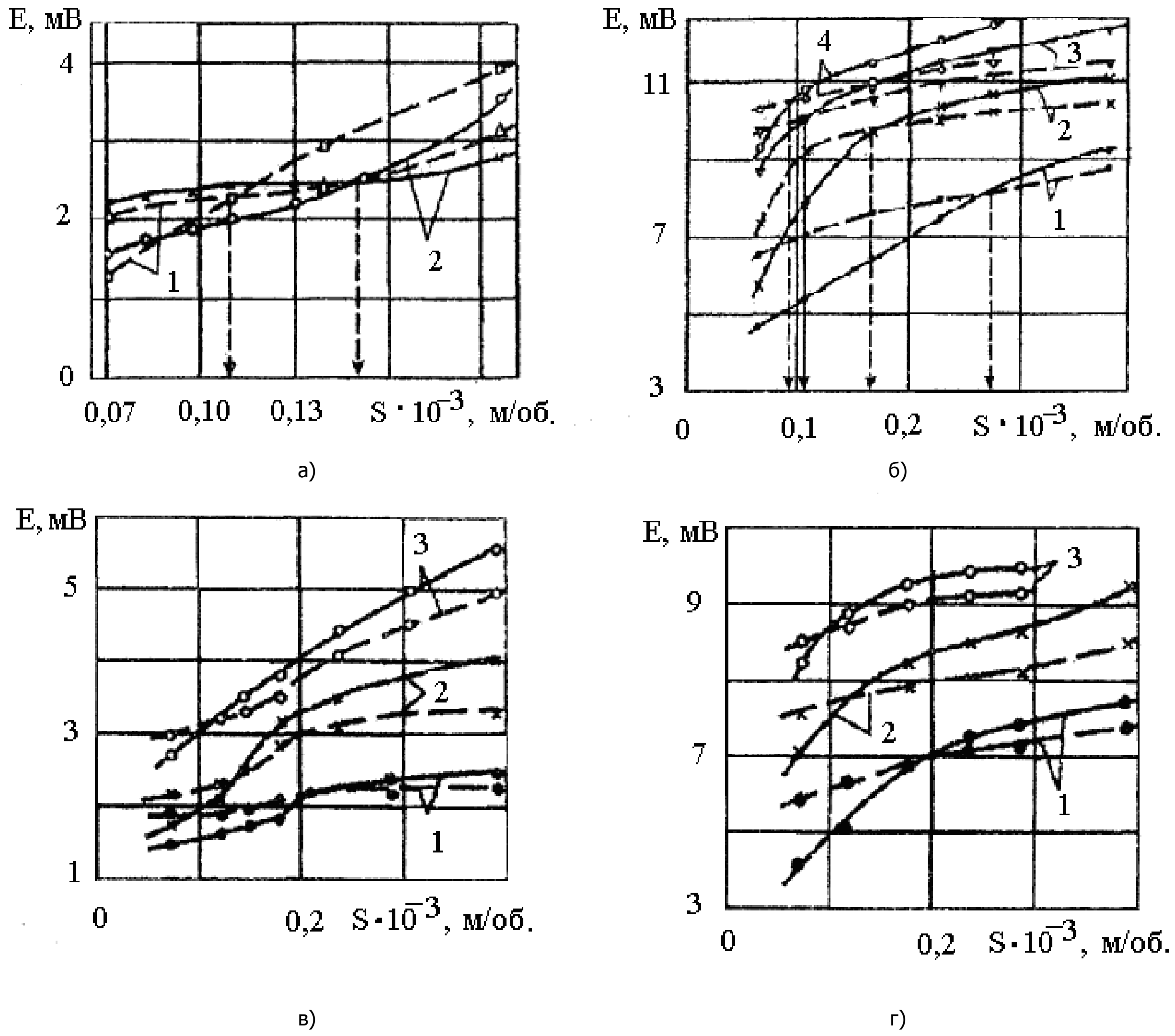


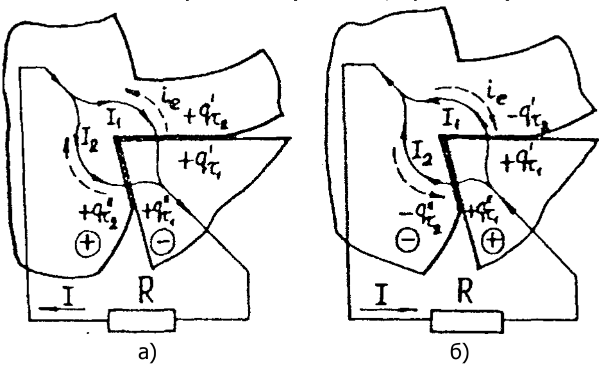
Рис. 1. Соотношение между термоЭДС $E_П$ и $E_З$ при точении (свободное резание, сплошные кривые соответствуют $E_П$, пунктирные — $E_З$):

а) резец из быстрорежущей стали Р18; обрабатываемые материалы: 1 — ковкий чугун КЧ 33-8 (v = 0,5 м/с, t = 2,5 × × 10^{-3} м, γ= 0°); 2 — сталь 45 (v = 0,5 м/с, t = 0,5 · 10^{-3} м, γ = 0°); б) Т15К6 — сталь 40Х (t = 0,5 · 10^{-3} м): 1 — v = 0,42 м/с; 2 — v = 0,83 м/с; 3 — v = 1,25 м/с; 4 — v = 1,67 м/с; в) Т15К6 — КЧ 33-8 (t = 2 · 10^{-3} м): 1 — v = 0,25 м/с; 2 — v = 0,5 м/с; 3 — v = 1 м/с; г) ВК8 — 1Х18Н9Т (t = 0,5·10^{-3} м): 1 — v = 0,33 м/с; 2 — v = 0,67 м/с; 3 — v = 1,17 м/с

Тепловое действие термотока через эффект Томсона определяется температурной зависимостью коэффициентов Томсона материалов пары трения и направлением тока и не является однозначным. В табл. 1 приведены сочетания материалов «инструмент-деталь» и температурные интервалы, в которых естественный термоток всегда дополнительно нагревает (через эффект Томсона) инструментальный материал (табл. 1, гр. 3). Существует диапазон температур, в которых из-за разных знаков коэффициента Томсона термоток будет дополнительно охлаждать инструмент для некоторых сочетаний пар «инструментальный — обрабатываемый материал».

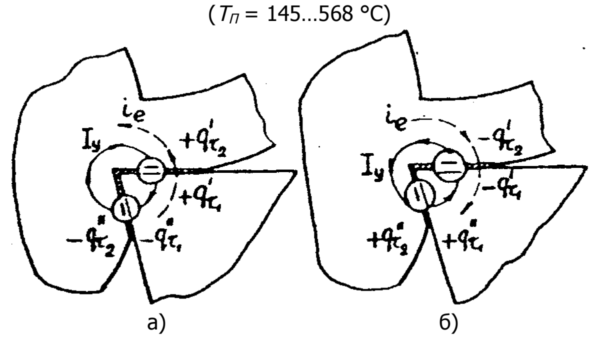
Для различных пар «инструментальный — обрабатываемый материал» в выбранных температурных интервалах естественный термоток через эффект Томсона дополнительно нагревает инструментальный материал в локальном микрообъёме (табл. 1, гр. 3). Необходимым условием для этого должно быть равенство средних температур контакта на передней и задней поверхностях инструмента. В самом общем случае резания металлов дополнительно к идеальному вариан-

ту (равенство $E_П = E_З$) нужно учитывать тепловое действие термотоков, циркулирующих во внутренней цепи через контактные площадки инструмента согласно рис. 3. Если процесс резания осуществляется в условиях черновой обработки, когда рабочая подача больше её критического значения ($E_П > E_З$), то термоток через эффект Томсона нагревает заднюю и охлаждает переднюю поверхность твердосплавных инструментов. Для быстрорежущей стали — наоборот, в условиях циркуляции термотока только через переднюю и заднюю поверхности дополнительно нагревается передняя и охлаждается задняя поверхность (табл. 1, гр. 5 и 6).



а) б)

Рис. 2. Схемы протекания естественных термотоков через зону контакта для твёрдого сплава (а) и быстрорежущей стали (б) ($E_П = E_З$) и теплового действия для пар: а — сплава Т15К6 — Ст 35 ($T_П$ = 710…940 °С); б — сплава Р6М5 — Ст 35 ($T_П$ = 145…568 °С)



а) б)

Рис. 3. Схема протекания уравнительного тока во внутренней цепи при резании, когда $E_П > E_З$ (а) и $E_З > E_П$ (б), и теплового действия для пары Т15К6 — Ст 35 ($T_П$ = 710…940 °С). Направления термотоков показаны сплошными, а потока электронов — пунктирными линиями

При работе в области тонких и сверхтонких стружек ($E_З > E_П$) на контактных площадках получается противоположный тепловой эффект от термотоков (табл. 1, гр. 4, 5 и 6, 7). В реальных условиях резания, когда одновременно действуют внутренняя и внешняя цепи термотока, итоговое тепловое действие термотоков может быть сложнее рассмотренного выше, и поэтому изоляция инструмента или введение противотока в зону резания не всегда уменьшит износ задней поверхности. Как видно из табл. 1, гр. 4 и 5, естественный термоток через эффект Томсона охлаждает переднюю и нагревает заднюю поверхность, поэтому его компенсация обусловливает снижение износа этой поверхности, а тепловой режим на передней поверхности остаётся без изменения. Как следует из расчётных и экспериментальных данных, в этих условиях интенсивность изнашивания должна возрастать, однако в тонких слоях стружки действует объёмный источник тепла Томсона, осуществляющий дополнительный нагрев стружки, в результате чего температурное поле на передней поверхности будет локализовано к поверхности контакта (увеличится qrad T и уменьшится размер Δ). Из-за противоположного действия объёмных источников тепла Томсона в стружке и на передней поверхности тепловое состояние последней приблизительно останется таким же, как и в обычных условиях резания. При этой температуре (табл. 1) знак коэффициента Томсона у твёрдого сплава отрицателен, и при прохождении через контакт термотока на поверхностях резца действуют охлаждающие объёмные источники тепла Томсона, что по-

ложительно влияет на снижение интенсивности изнашивания. Разрыв изоляцией цепи термотока ликвидирует эти тепловые источники. Следовательно, условия протекания термотоков через зону трения и контактные площадки режущего инструмента (табл. 1) и действие объёмных источников тепла Томсона, обусловленное величиной тока, градиентом температур, знаком и величиной коэффициента Томсона, полностью будут определять эффективность разрыва цепи термотока для снижения износа. Наибольший эффект должен иметь место, с одной стороны, при резании с малыми размерами контактных площадок и, с другой стороны, на определённых оптимальных подачах, когда $T_П = T_З$ ($E_П = E_З$), т. е. обеспечивается термодинамическое равновесие во внутреннем контуре «передняя поверхность — стружка — деталь — задняя поверхность». Эсперментальные исследования стойкости металлорежущих инструментов в лабораторных и производственных условиях подтвердили ожидаемое максимальное повышение стойкости при работе изолированным инструментом с оптимальной подачей. В табл. 2 представлены результаты стойкостных испытаний в лабораторных условиях [1] токарных резцов с 4-гранными неперетачиваемыми пластинами, а в табл. 3 — в производственных условиях ОАО «Роствертол».

Таблица 1

Некоторые показатели действия термотока (через эффект Томсона) применительно к процессу резания при точении[1]

Инструмент — деталь	Диапазон температуры, °С	Тепловое действие объёмного источника Томсона при $E_П = E_З$ ($I_У = 0$) на поверхности инструмента	Тепловое действие объёмного источника Томсона во внутренней цепи			
			$E_П > E_З$ ($t_П > t_З$)		$E_П < E_З$ ($t_П < t_З$)	
			на передней поверхности	на задней поверхности	на передней поверхности	на задней поверхности
1	2	3	4	5	6	7
Т15К6 — Сталь 35	710—940	+	–	+	+	–
ВК8 — Сталь 35	315—835	+	–	+	+	–
ВК8 — 1Х18Н9Т	315—630	+	–	+	+	–
	630—840	+	–	+	+	–
ВК8 — ВТ3-1	315—835	+	–	+	+	–
Р6М5 — Сталь 35	145—568	+	+	+	–	+
Р6М5 — 1Х18Н9Т	140—290	+	+	–	–	+
	290	+	+	–	–	+
Р6М5 — ВТ3-1	180—280	+	+	–	–	+
	280	+	+	–	–	+
Р6М5 — ЛС59-1Л	145—275	+	+	–	–	+
	275—600	+	+	–	–	+

Таблица 2

Результаты стойкостных испытаний твердосплавных резцов в лабораторных условиях ($t = 1 \cdot 10^{-3}$ м)

Материал инструмента — детали	Скорость резания, V, м/с	Величина оптимальной подачи, $S{\cdot}10^{-3}$, м/об	Коэффициент увеличения стойкости при изоляции инструмента $K = T_И(0,9)/T_О(0,9)$ для подачи $S{\cdot}10^{-3}$, м/об			Средняя температура при оптимальной подаче
			0,07	оптимальная	0,39	
Т15К6 — 40Х	0,83	0,17	1,08	1,43	1,18	760
	1,25	0,11	1,08	1,60	1,26	720
	1,67	0,097	1,06	1.69	1,35	740
ВК8 — 1Х18Н9Т	0,33	0,17	1,08	1,51	1,11	480
	0,67	0,11	1,00	1,63	1,27	520
	1,17	0,097	1,06	1,62	1,36	600

[1]Знак «+» означает, что объёмный источник тепла Томсона дополнительно нагревает, а знак «–» — охлаждает микрообъёмы материалов.

В лабораторных условиях резцы (по 20 штук в каждой партии) изнашивались до значений $0{,}4 \cdot 10^{-3}$ м по задним поверхностям, а результаты обрабатывались с привлечением элементов теории надёжности [2]. В табл. 2 приведены гарантийные значения стойкостей T (0,9), полученные при резании в обычных условиях и с изолированным инструментом. Для оценки действия объёмных источников тепла Томсона (табл. 1) приведены средние температуры в зоне резания.

Таблица 3

Результаты стойкостных испытаний инструментов в производственных условиях

Инструмент	Марка материала инструмента	Материал детали	Режим резания		Стойкость Т(0,5) шт. дет.		Коэффициент увеличения стойкости $K = T_И(0{,}5)/T_0(0{,}5)$
			V, м/с	$S_z\ 10^{-3}$, м/зуб.	Обычное резание $T_0(0{,}5)$	Инструмент изолир. $T_И(0{,}5)$	
Свёрла спиральные	Р18	ЭИ696А	0,25	0,05	27	42	1,56
⌀9,5 Метчики	Р18	Ст 45	0,28	0,25	1000	1500	1,50
М12Х1 Свёрла ружейные	Т15Л6	Ст 45	0,75	0,05	79	112	1,42
⌀8,0 Фрезы концевые	Р6М5	40ХНМА (HRC = 30—35)	0,17	0,08	31	46	1,48
⌀15,8 Фрезы концевые	Р9	40ХНМА	0,28	0,11	333	538	1,62
⌀60,0 Фрезы концевые	Р9К5	40ХНМА	0,28	0,11	276	546	1,97
⌀60,2 Фрезы концевые	Т15К6	40ХНМА	1,02	0,04	344	440	1,28
⌀54,0 Резцы подрезные	Т15К6	У8А	0,66 (t = 4 мм)	0,15	41	66	1,62

Для выбранного диапазона скоростей резания наибольший эффект от изоляции инструмента имеет место при работе с оптимальной подачей, что полностью согласуется с изложенными выше соображениями о роли внутренней цепи термотока на изменение теплового режима через эффект Томсона. Из табл. 2 и 3 видно, что номинальный температурный режим для пары Т15К6 — 40Х 720...760 °С достаточен для проявления нагревающего действия термотока в обычных условиях резания. Для подачи $S = 0{,}07 \cdot 10^{-3}$ м/об. (функционирует внутренняя цепь термотока, и обеспечивается условие $E_З > E_П$) изоляция не оказывает практического влияния на износ задних поверхностей резцов, так как температура в зоне резания (~640 °С) недостаточна для проявления в обычных условиях резания эффекта Томсона (710…940 °С, табл. 1, гр. 2). Большая эффективность изоляции инструмента в снижении износа задних поверхностей при точении в области закритических подач ($E_П > E_З$) закономерна и объяснима раздельным действием объёмных источников тепла Томсона на передней и задней поверхностях резца. Если $E_П > E_З$, термоток будет дополнительно нагревать заднюю поверхность — как для пары Т15К6 — Ст35, так и ВК8 — 1Х18Н9Т (табл. 1, гр. 5), и разрыв внешней цепи изоляцией возвратит систему трения в более выгодное термодинамическое состояние, характеризуемое большими grad T и меньшими размерами термически активной зоны Δ. При выборе операций механической обработки в производственных условиях, где проверялись результаты теоретических исследований и лабораторных испытаний инструмента с разрывом цепи термотока, принималось во внимание следующее:

1) необходимость повышения стойкости инструмента из-за его большого расхода или высокой стоимости детали (инструмента);

2) стабильность программы обрабатываемых деталей;

3) технологические особенности операции, позволяющие применять с наибольшей эффективностью метод разрыва цепи термотока.

Исходя из этого, выбирались операции, выполняемые на станках с программным управлением, агрегатных и револьверных станках с толщинами среза (подачи), при которых приблизительно соблюдается условие $E_П = E_З$. Полученные результаты подтверждают ожидаемое увеличение стойкости инструментов при их изоляции на основе теоретических предпосылок не только качественно, но и количественно. На рис. 4 в качестве примера приведены характеристики надёжности концевых фрез диаметром 15,8 мм из стали Р6М5 при обработке деталей из закалённой стали 40ХНМА.

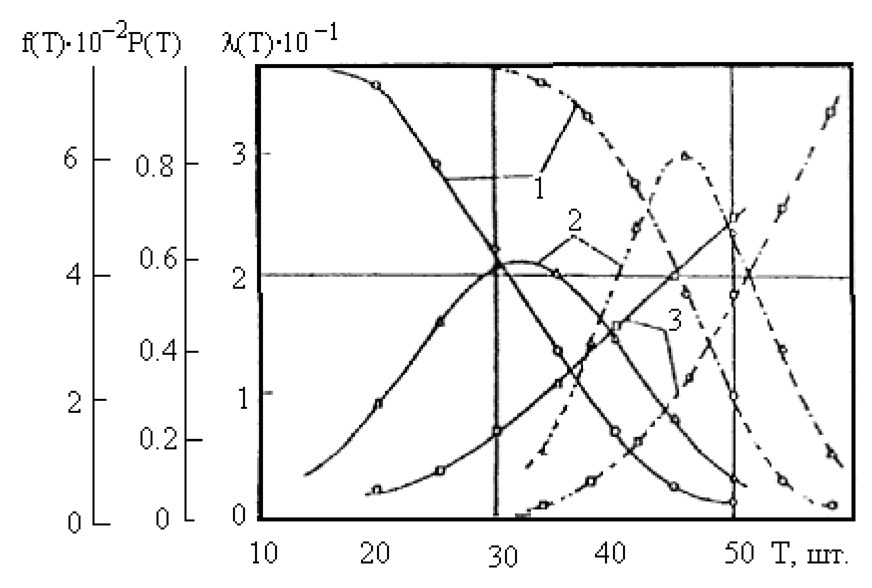


Рис. 4. Характеристики надёжности концевых фрез диаметром 15,8 мм из быстрорежущей стали Р6М5 (v = 1,17 м/с, $S_Z = 0{,}08 \cdot 10^{-3}$ м/зуб.); обрабатываемый материал — 40ХНМА (HRC = 30—35); сплошные линии — обычное резание, пунктирные — инструмент изолирован: 1 — функции надёжности $P(T)$; 2 — плотность вероятностей безотказной работы $f(T)$; 3 — интенсивность отказов $\lambda(T)$

Вывод. Таким образом, наибольший эффект при изоляции, как и при трении, достигается на инструментах из быстрорежущих сталей, что было показано нами ранее в [3—7] и применительно к процессу сверления. Как следует из полученных в настоящей работе результатов, коэффициент увеличения стойкости инструмента при его изоляции не превышает двух, что по порядку величины согласуется с коэффициентом снижения интенсивности изнашивания для аналогичных случаев в условиях трения.

Статья подготовлена в ходе работ по государственному контракту на выполнение научно-исследовательских работ с Минобрнауки России от 29 апреля 2011 года № 16.552.11.7027.

Библиографический список

1. Рыжкин, А. А. О связи тепловых и электрических процессов при трении / А. А. Рыжкин, А. И. Филипчук, В. С. Дмитриев // Известия СКНЦ ВШ. Технические науки. — 1980. — № 2. — С. 102—104.

2. Рыжкин, А. А. Основы теории надёжности: учеб. пособие / А. А. Рыжкин, Б. Н. Слюсарь, К. Г. Шучев. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2002. — 181 с.

3. Аваков, А. А. Повышение стойкости спиральных свёрл при обработке жаропрочных сталей / А. А. Аваков, А. А. Рыжкин // Спиральные свёрла: сб мат-лов Всесоюз. совещ. — Москва, 1965. — С. 163—174.

4. Рыжкин, А. А. Влияние электрического тока на износ при резании / А. А. Рыжкин // Электрические явления при трении и резании металлов. — Москва: Наука, 1969. — С. 70—82.

5. Рыжкин, А. А. Исследование процесса сверления жаропрочных сталей быстрорежущими и твердосплавными свёрлами малого диаметра: дис. … канд. техн. наук. — Новочеркасск, 1966. — 208 с.

6. Рыжкин, А. А. Стойкость быстрорежущих свёрл с пластмассовыми конусами / А. А. Рыжкин // ЦБТИ СНХ: информ. листок № 416. — Ростов-на-Дону, 1964. — 3 с.

7. Рыжкин, А. А. Влияние термоэлектрического тока на некоторые характеристики процесса резания металлов / А. А. Рыжкин, В. С. Дмитриев // Электрические явления при трении, резании и смазке твёрдых тел. — Москва: Наука, 1973. — С. 116—125.

Материал поступил в редакцию 30.01.2012.

References

1. Ry`zhkin, A. A. O svyazi teplovy`x i e`lektricheskix processov pri trenii / A. A. Ry`zhkin, A. I. Filipchuk, V. S. Dmitriev // Izvestiya SKNCz VSh. Texnicheskie nauki. — 1980. — № 2. — S. 102—104. — In Russian.

2. Ry`zhkin, A. A. Osnovy` teorii nadyozhnosti: ucheb. posobie / A. A. Ry`zhkin, B. N. Slyusar`, K. G. Shuchev. — Rostov-na-Donu: Izd. centr DGTU, 2002. — 181 s. — In Russian.

3. Avakov, A. A. Povy`shenie stojkosti spiral`ny`x svyorl pri obrabotke zharoprochny`x stalej / A. A. Avakov, A. A. Ry`zhkin // Spiral`ny`e svyorla: sb mat-lov Vsesoyuz. soveshh. — Moskva, 1965. — S. 163—174. — In Russian.

4. Ry`zhkin, A. A. Vliyanie e`lektricheskogo toka na iznos pri rezanii / A. A. Ry`zhkin // E`lektricheskie yavleniya pri trenii i rezanii metallov. — Moskva: Nauka, 1969. — S. 70—82. — In Russian.

5. Ry`zhkin, A. A. Issledovanie processa sverleniya zharoprochny`x stalej by`strorezhushhimi i tverdosplavny`mi svyorlami malogo diametra: dis. … kand. texn. nauk. — Novocherkassk, 1966. — 208 s. — In Russian.

6. Ry`zhkin, A. A. Stojkost` by`strorezhushhix svyorl s plastmassovy`mi konusami / A. A. Ry`zhkin // CzBTI SNX: inform. listok № 416. — Rostov-na-Donu, 1964. — 3 s. — In Russian.

7. Ry`zhkin, A. A. Vliyanie termoe`lektricheskogo toka na nekotory`e xarakteristiki processa rezaniya metallov / A. A. Ry`zhkin, V. S. Dmitriev // E`lektricheskie yavleniya pri trenii, rezanii i smazke tvyordy`x tel. — Moskva: Nauka, 1973. — S. 116—125. — In Russian.

ON CONTROL EFFECTIVENESS OF ELECTRIC PROCESSES UNDER CUTTING

A. A. Ryzhkin, V. E. Burlakova
(Don State Technical University)

The effect of thermoelectric heat under cutting is considered. In the narrow feed range under the preselected cutting speed, no-equalizing current area in the inner electrical circuit is defined.
Keywords: *thermoelectric power, cutting speed, wear-out, heat effect of thermionic current, Thomson coefficient, cutting tool.*

УДК 631.3.001.361

Схемы и конструктивные решения упрощённых зерноуборочных агрегатов на базе универсальных и пропашных тракторов

А. Д. Чистяков, Ю. И. Ермольев
(Донской государственный технический университет)

Предложены конструктивные решения упрощённых зерноуборочных агрегатов на базе универсальных (пахотных) и пропашных тракторов, обеспечивающих уборку с затратами существенно ниже комбайновой. Конструктивные решения получены на основе моделей прогнозирования направлений развития средств механизации. Составы уборочных комплексов и способы взаимодействия агрегатов отработаны на имитационных моделях.
Ключевые слова: *энергетическое средство, срезанная хлебная масса, молотильно-сепарирующее устройство, зерновой ворох, временное складирование, подборщик вороха, пневмосепарация.*

Введение. Более чем за 200 лет истории комбайностроения классическая схема зерноуборочного комбайна претерпела незначительные, непринципиальные изменения, связанные с «модой» на конструктивные решения узлов и систем. В то же время каждые 100 лет значительно (на 85—90 %) меняется структура питания населения, состав кормов сельскохозяйственных животных, происходит весьма неравномерное для различных культур изменение урожайности, что приводит к существенным изменениям составов и соотношений сельскохозяйственных культур в севооборотах хозяйств. В последние десятилетия ускорение научно-технического прогресса привело к изменениям в структуре питания населения и кормления сельскохозяйственных животных на 1—1,5 % в год. Широкое применение технологий глубокой биохимической переработки требует производства других культур и других их состояний (например, по зрелости). Вследствие этого и причин экономико-социального характера, в нашей стране и во всём мире наметились тенденции к сокращению объёмов зерноуборки [1].

Предлагаемое решение. На рис. 1 приведена диаграмма значений прогнозируемых нами на 20 лет вперёд объёмов зерноуборки в га на душу населения для сценариев развития, охватывающих диапазон производства зерна от 300 до 1500 кг на душу населения в год. Из диаграммы видно, что при сохранении сегодняшних тенденций развития объёмы зерноуборки сократятся на 1/3 при любом сценарии развития. Тем не менее, за последние 40—50 лет и у нас в стране, и во всём мире происходит развитие комбайностроения, концентрация и даже глобализация производства зерноуборочных комбайнов.

Массовое применение зерноуборочных комбайнов проявило существенные недостатки, присущие выпускаемым в настоящее время комбайнам. Очень высокая концентрация операций в одной машине, присущая современным самоходным комбайнам, при большой производительности, жёстких ограничениях на чистоту, потери и травмирование зерна, при высоких требованиях долговечности и надёжности приводит к росту массы машины. Это порождает проблемы высокой стоимости, уплотнения почвы при уборке, снижающей урожайность сельхозкультур, высокой квалификации кадров для эксплуатации, обслуживания и ремонта. К недостаткам комбайновой уборки можно отнести затруднённость раздельного сбора лёгкой фракции (полова) и соломистой фракции, что снижает эффективность использования незерновой части урожая в животноводстве.

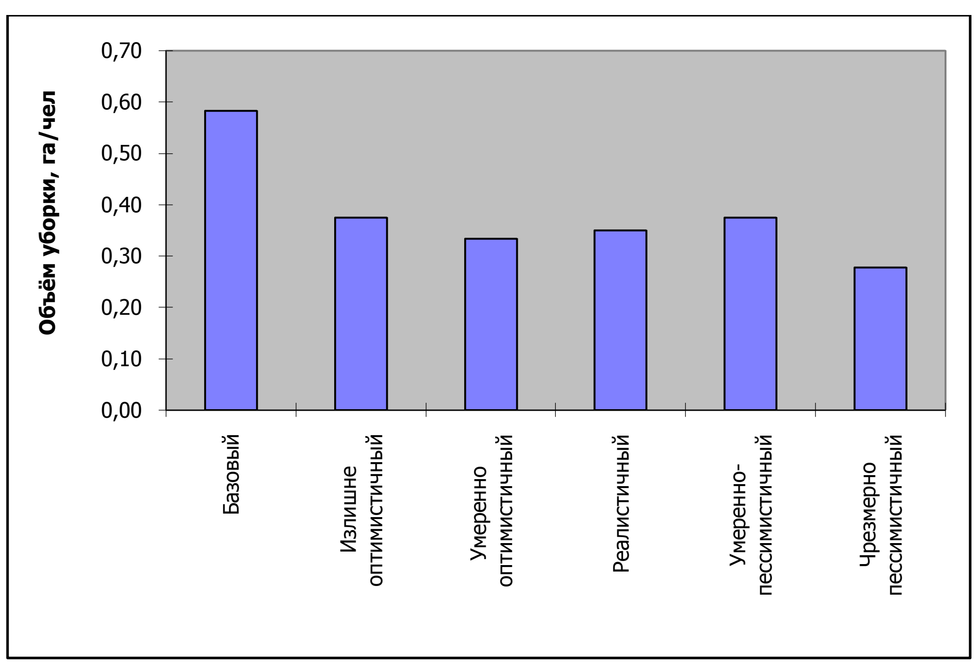


Рис. 1. Диаграмма значений прогнозируемых на 20 лет вперёд объёмов зерноуборки в га на душу населения для сценариев развития с объёмами производства зерна на душу населения в год: базовый — современные объёмы уборки при 700 кг; излишне оптимистичный — 1500 кг; умеренно оптимистичный — 1000 кг; реалистичный — 750 кг; умеренно пессимистичный — 450 кг; излишне пессимистичный — 300 кг

Ещё одной проблемой комбайновой уборки является самая строгая, сопряжённая с неминуемыми и весьма существенными потерями времени, «перегрузочная» организация уборочно-транспортной операции, что приводит к снижению эксплуатационной производительности уборочного комплекса.

В то же время все 200 лет истории комбайностроения с разной степенью успешности ведутся атаки на классическую схему комбайна. А в последние 40—50 лет, параллельно с концентрацией производства зерноуборочных комбайнов, эти атаки стали не только серьёзными, но и в значительной мере успешными.

К несомненно успешным атакам на классическую схему зерноуборочного комбайна следует отнести создание и освоение производства прицепного комбайна «Простор» и монтируемо-прицепного комбайна для УЭС «Полесье» с роторными молотильно-сепарирующими устройствами.

К таким достаточно успешным атакам на классическую схему следует отнести доведённые до опытной эксплуатации схемы «Невейки», разработанной в Зернограде под руководством академика РАСХН Э. И. Липковича, схемы «промышленного» способа уборки, реализованной в станице Каневской, «Казахского» метода уборки.

«Камнем преткновения» для широкого внедрения схем «Невейки», «Каневского» и «Казахского» методов стала доставка «на стационар» для очистки («Невейка») или обмолота и очистки («Каневской» метод) зерносоломистой массы, плотность которой для «Невейки» не превышала 200 кг/м^3, а для «Каневского» метода — 50—70 кг/м^3.

О полном исчерпании возможностей классической схемы зерноуборочного комбайна свидетельствуют S-образный характер кривых развития параметров комбайнов во времени, приведённый в работах А. И. Русанова и Г. М. Журавлёвой [2] .Достаточно дифференцировать такую интегральную кривую, и становится очевидным резкое падение «прироста» параметров во времени, указывающее на исчерпание возможности такой схемы комбайна.

На кафедре сельхозмашин ДГТУ была разработана система моделей прогнозирования развития средств механизации, включающая сценарные прогнозы потребности в технике, син-

тез схемных решений и конструктивных реализаций этих схем на основе теории нечётких множеств [3].

В результате проведённых нами прогнозов для рассмотренных сценариев развития наибольшим спросом будет пользоваться навесной на энергетическое средство (трактор) зерноуборочный агрегат, уборочная машина которого включает жатвенную часть, роторное молотильно-сепарирующее устройство пропускной способностью 4—5 кг/с., вертикальный пневмосепаратор и транспортёр. Очищенный в пневмоканале зерновой ворох накапливается в прицепном бункере. Отличие от ранее исследовавшейся схемы «Невейки» в том, что транспортирование на существующие стационарные зерноочистительные агрегаты (типовые или с частичной модернизацией) происходит «продутого» зернового вороха плотностью (натурой) 600—650 кг/м^3.

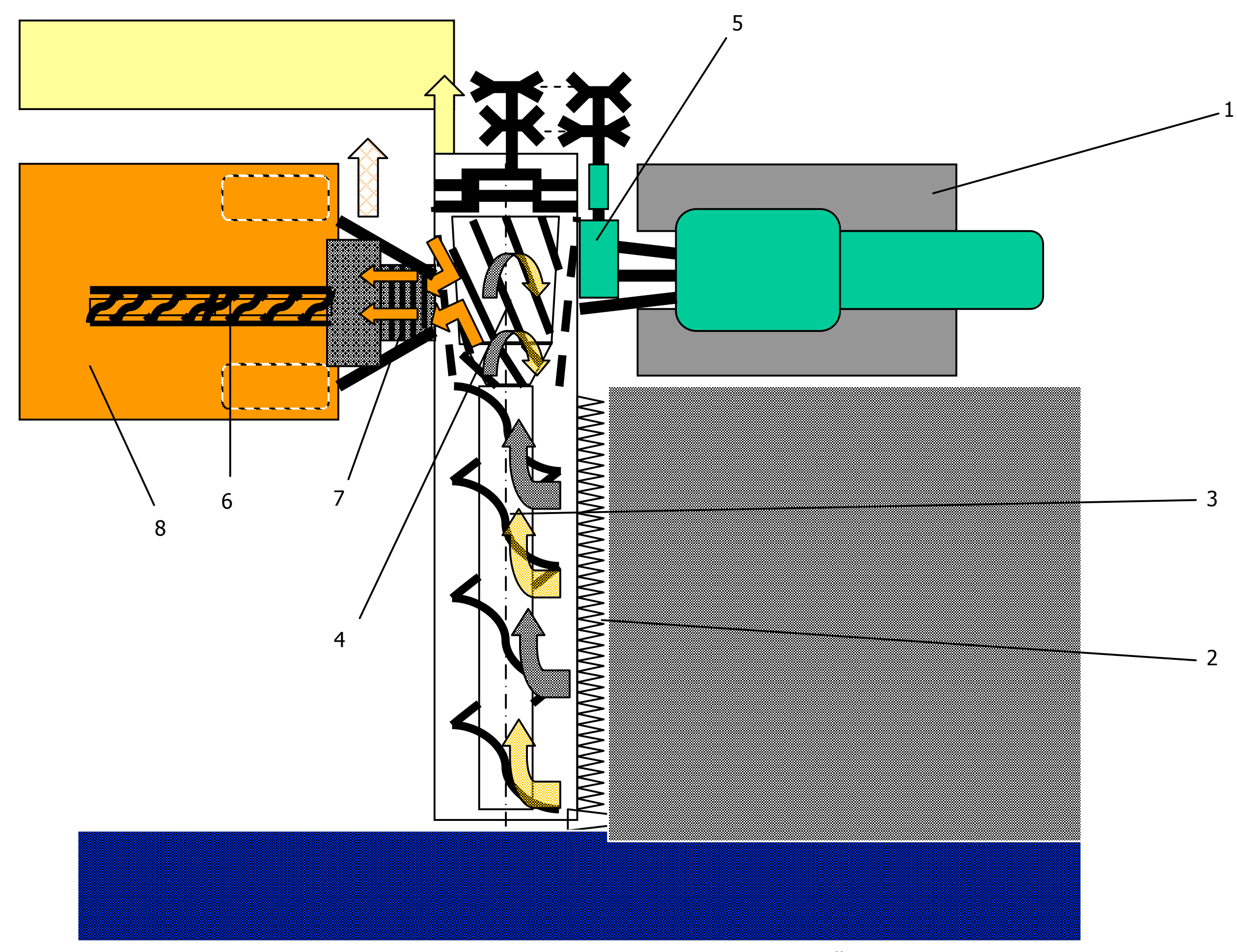


Рис. 2. Схема зерноуборочного агрегата: 1 — энергетическое средство; 2 — режущий аппарат; 3 — шнек жатки; 4 — роторное молотильно-сепарирующее устройство; 5 — шредер; 6 — шнек; 7 — пневмосепаратор зернового вороха; 8 — прицепной сменный бункер; — срезанная хлебная масса; — зерновой ворох; — соломенный ворох; — лёгкая фракция (полова)

Зерноуборочный агрегат (рис. 2) представляет собой навешенную на трактор жатку, соосно со шнеком которой установлено аксиальное роторное молотильно-сепарирующее устройство (попытки совместить аксиальное роторное молотильно-сепарирующее устройство и жатку предпринимались в ГСКБ «Ростсельмаш» в 1952—1954 гг., но не были завершены из-за технологических проблем, присущих тому уровню развития производства). Проход молотильно-сепарирующего устройства — зерно, полова, сбоина, колоски, насыпной плотностью 150—

180 кг/м^3, подаются в вертикальный пневмосепаратор. Сход молотильно-сепарирующего устройства — соломенный ворох — после измельчения (или без измельчения) расстилается по полю. При высоте пневмосепарирующего канала около 1,5 м плотность зернового вороха, накапливаемого в прицепном бункере, составит 600—650 кг/м^3, что уже вполне приемлемо для транспортирования. Мощность, необходимая на привод такой уборочной машины, по нашим оценкам, не превысит 40—45 кВт.

Чтобы расширить возможности агрегатирования уборочных машин, в результате целенаправленного поиска и системной оценки вариантов на имитационных моделях уборочно-транспортных комплексов нам удалось синтезировать схемы и конструктивные решения средств механизации, реализующие описанный выше технологический процесс, но потребляющие на привод рабочих органов не более 28—30 кВт (соответствует возможностям привода от пропашного трактора).

Для этих машин найдена организация взаимодействия агрегатов, обеспечивающая переход от «перегрузочной» на более свободную, «перевалочную» технологию организации уборочно-транспортного комплекса, исключающая потери времени на ожидание при взаимодействии рабочих и транспортных звеньев комплекса. К тому же, организация технологического процесса этого комплекса позволяет не терять, а накапливать ценный компонент кормов сельскохозяйственных животных — полову (выходную фракцию после пневмосепаратора).

Возможность введения в комплекс ещё одного специализированного агрегата позволит из накопленной половы получать гранулированный корм.

Предлагаемый для этой технологии уборочно-перерабатывающий комплекс включает три последовательно работающих агрегата: уборочный, очистительный и агрегат производства гранулированных кормов.

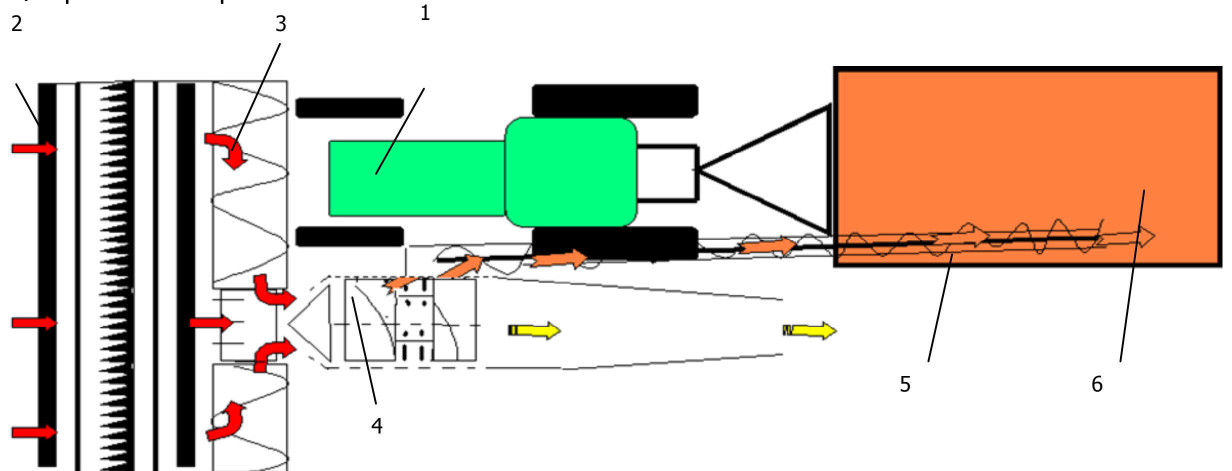


Рис. 3. Схема уборочного агрегата комплекса: 1 — энергетическое средство; 2 — режущий аппарат; 3 — шнек жатки; 4 — роторное молотильно-сепарирующее устройство; 5 — шнек; 6 — прицепной сменный бункер; — срезанная хлебная масса; — зерновой ворох; — соломенный ворох

Уборочный агрегат этого комплекса представляет собой навешенную на трактор жатку, за которой установлено аксиальное роторное молотильно-сепарирующее устройство. Проход молотильно-сепарирующего устройства — зерно, полова, сбоина, колоски насыпной плотностью 150—180 кг/м^3 — транспортёром подаётся в прицепной бункер агрегата вместимостью 60—80 м^3 (рис. 3). Сход молотильно-сепарирующего устройства — соломенный ворох — после измельчения (или без измельчения) расстилается по полю. Накапливаемый в прицепном бункере зерновой во-

рох разгружается на краю поля на расстилаемый при разгрузке защитный экран (например, полиэтиленовая плёнка). При ширине захвата жатки 4 м, урожайности до 45 ц/га и длине гона 1000 м разгрузка прицепного бункера производится с одной стороны поля. При урожайности более 45 ц/га — с двух сторон.

Очистительный агрегат начинает работу непосредственно за уборочным агрегатом или с некоторым отставанием во времени. На работу очистительного агрегата суточные колебания влажности (роса, например) влияния не оказывают. В случае дождя выгруженный на экран зерновой ворох может быть укрыт плёнкой.

Очистительный агрегат (рис. 4) состоит из очистительной машины, навешенной на трактор. Очистительная машина включает подборщик зернового вороха, транспортёр, пневмосепарирующий канал.

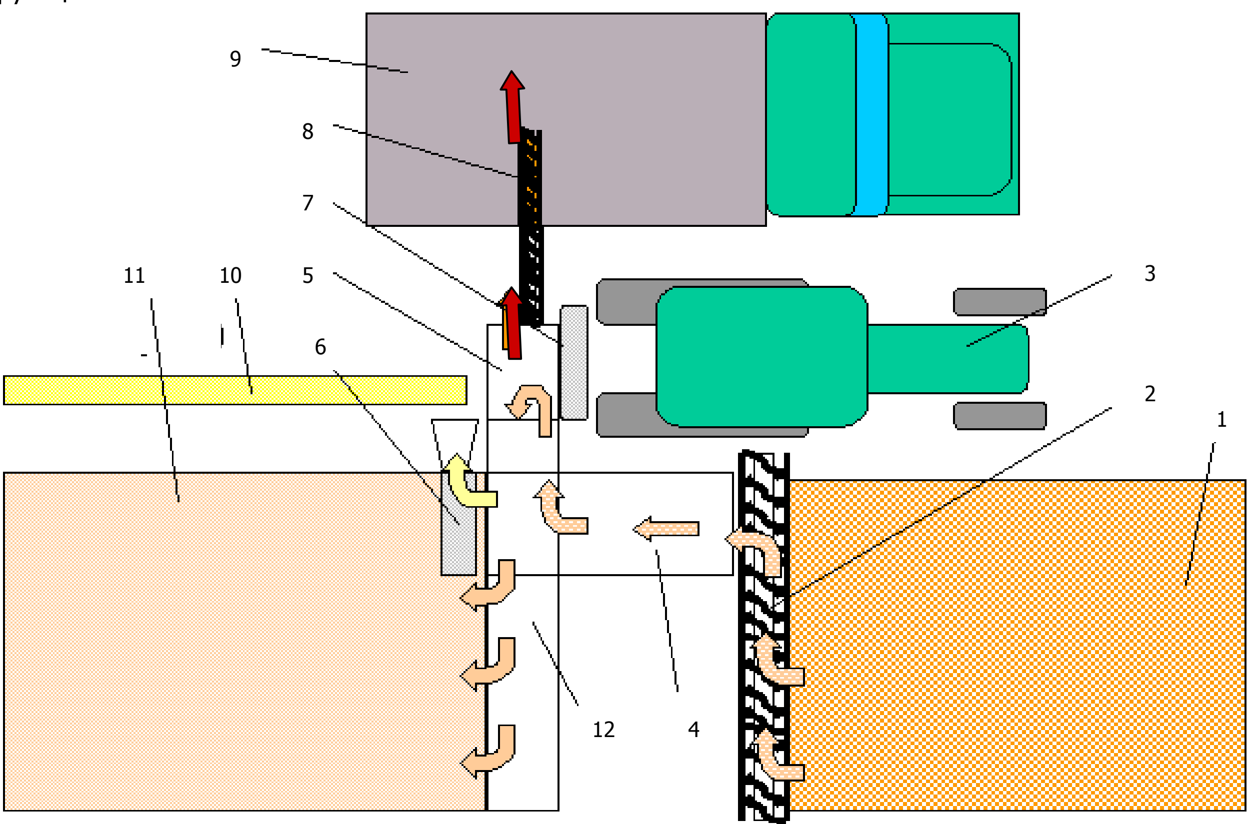


Рис. 4. Схема очистительного агрегата: 1 — бурт зернового вороха; 2 — подборщик вороха; 3 — энергетическое средство; 4 — транспортёр; 5 — пневмосепарирующий канал; 6 — сепарирующее устройство; 7 — вентилятор; 8 — зерновой шнек; 9 — транспортное средство; 10 — валок крупных примесей; 11 — бурт половы; 12 — осадочная камера; — зерновой ворох; — полова; — зерно; — крупные примеси

Вынос пневмосепарирующего канала — полова и сбоина — укладывается в бурт. Очищенный зерновой ворох подаётся в транспортное средство для доставки на зерноочистительный комплекс хозяйства.

Агрегат производства гранулированных кормов организационно не связан с работой уборочного и очистительного агрегатов. Агрегат производства гранулированных кормов (рис. 5) состоит из энергетического средства, навешенной на него машины и прицепа-накопителя гранул.

Машина для производства гранулированных кормов (рис. 5) включает подборщик половы, транспортёр, смеситель половы и белково-витаминной пасты, гранулятор, транспортёр-охладитель и бункер для пасты.

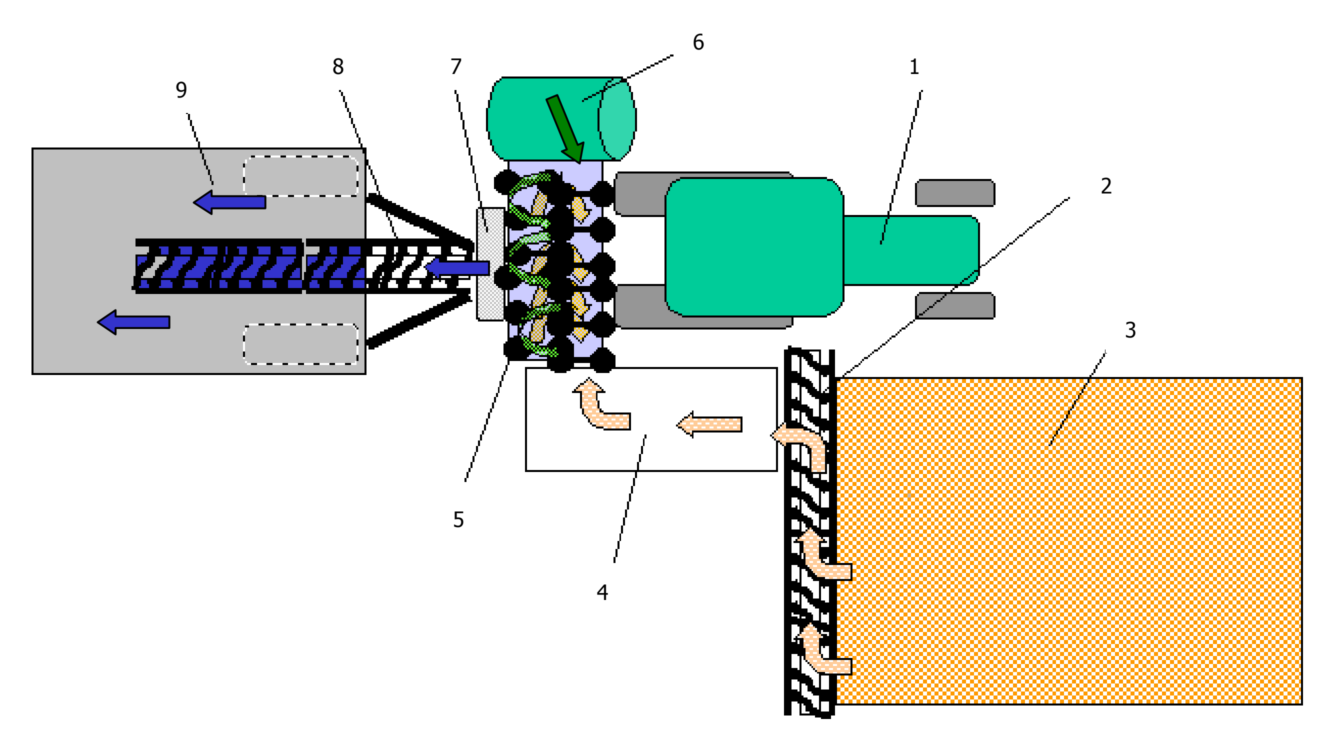


Рис. 5. Схема агрегата для производства гранул: 1 — энергетическое средство; 2 — подборщик половы; 3 — бурт половы; 4 — транспортёр; 5 — смеситель половы и белково-витаминной пасты; 6 — бункер для белково-витаминной пасты; 7 — гранулятор; 8 — транспортёр-охладитель; 9 — прицеп накопитель для гранул; — полова; , — белково-витаминная паста; — гранулы

Выводы. Расчёты показывают, что стоимость уборочного агрегата с пневмосепарирующим каналом составит 50 % стоимости прицепного или 30 % стоимости самоходного зерноуборочного комбайна, а стоимость комплекта из уборочной и очистительной машин будет на 40 % меньше, чем прицепного, и на 60 % меньше стоимости самоходного комбайна такой же пропускной способности.

Платёжеспособный спрос на эти машины, даже при нынешнем уровне доходов в сельском хозяйстве, может достигать 30 тыс. комплектов в год, в дополнение к существующему объёму продаж зерноуборочных комбайнов.

Библиографический список

1. Чистяков, А. Д. Прогноз потребности в средствах механизации сельского хозяйства на перспективу в 20 лет / А. Д. Чистяков // Научные основы решения проблем сельскохозяйственного машиностроения: сб. науч. тр. — Тула: ТулГУ, 2003. — С. 111—119.

2. Русанов, А. И. Инженерная методика прогнозирования развития зерноуборочных комбайнов / А. И. Русанов, Г. М. Журавлёва // Тракторы и сельхозмашины. — 1997. — № 1. — С. 5—7.

3. Чистяков, А. Д. Прогнозирование структуры сельскохозяйственных машин / А. Д. Чистяков. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2003. — 195 с.

Материал поступил в редакцию 24.01.2012.

References

1. Chistyakov, A. D. Prognoz potrebnosti v sredstvax mexanizacii sel`skogo xozyajstva na perspektivu v 20 let / A. D. Chistyakov // Nauchny`e osnovy` resheniya problem sel`skoxozyajstvennogo mashinostroeniya: sb. nauch. tr. — Tula: TulGU, 2003. — S. 111—119. — In Russian.

2. Rusanov, A. I. Inzhenernaya metodika prognozirovaniya razvitiya zernouborochny`x kombajnov / A. I. Rusanov, G. M. Zhuravlyova // Traktory` i sel`xozmashiny`. — 1997. — № 1. — S. 5—7. — In Russian.

3. Chistyakov, A. D. Prognozirovanie struktury` sel`skoxozyajstvenny`x mashin / A. D. Chistyakov. — Rostov-na-Donu: Izd. centr DGTU, 2003. — 195 s. — In Russian.

SCHEMES AND CONSTRUCTION SOLUTION FOR SIMPLIFIED COMBINE HARVESTERS BASED ON MULTIPURPOSE AND ROW-CROP TRACTORS

A. D. Chistyakov, Y. I. Yermolyev
(Don State Technical University)

Some construction solutions for the simplified combine harvesters based on the universal (croplands) and row-crop tractors, which provide harvesting with much lower expenses than under combining, are offered. The construction solutions are obtained on the basis of the models predicting the directions for the mechanical equipment development. The component parts and interaction in the harvesting aggregates are developed on the simulation models.
Keywords: *power source, cut-off grain weight, threshing separation device, grain lots, temporary stocking, lots sorter, pneumoseparation.*

УДК 621.891.22:621.892.28

Смазочное действие олигоорганосилоксановых жидкостей, используемых в качестве дисперсионных сред пластичных смазочных материалов в транспортных системах

Г. И. Шульга, Е. В. Скринников
(Южно-Российский государственный технический университет),
Т. Г. Шульга
(Ростовский государственный университет путей сообщения)

Проанализированы существующие представления о механизме смазочного действия олигоорганосилоксановых жидкостей, используемых в качестве дисперсионных сред пластичных смазочных материалов, при граничном режиме трения, который реализуется в трибосопряжениях транспортных систем. Выявлены факторы, влияющие на механизм смазочного действия олигоорганосилоксановых жидкостей. Проведены испытания олигоорганосилоксановых жидкостей, содержащих молекулы различного строения и состава.
Ключевые слова: *олигоорганосилоксаны, смазочные свойства, граничный слой, критические нагрузки, противоизносные и антифрикционные свойства, окислительная деструкция.*

Введение. Актуальной проблемой для современных транспортных систем является разработка моторных, трансмиссионных, гидравлических масел, пластичных смазочных материалов, охлаждающих, тормозных, амортизаторных жидкостей, обеспечивающих без их замены длительную работу двигателей, механизмов и агрегатов трансмиссий, узлов трения, систем охлаждения, тормозов, амортизаторов в широком интервале низких и высоких температур.

Значительный интерес для решения данных задач представляют олигоорганосилоксановые жидкости [1—4]. Они обладают низкими температурами потери текучести — при −60 … −130 °С, высокой термостойкостью (200—350 °С), низким давлением насыщенных паров 133…0,133 мкПа, малой летучестью. Имеют пологую вязкостно-температурную характеристику, обладают значительной сжимаемостью и высоким давлением затвердевания, малым поверхностным натяжением (18…26 мН/м), высокой подвижностью, малой зависимостью от скорости сдвига, химической инертностью, слабой горючестью. Олигоорганосилоксановые жидкости используют в качестве смазочных масел, дисперсионных сред пластичных смазочных материалов, вазелинов и паст, жидких рабочих сред, теплоносителей, разделительных жидкостей, антивспенивателей в различных приборах и механизмах в космической технике, самолётостроении, автомобилестроении, машиностроении, приборостроении.

Широкое применение олигоорганосилоксанов ограничивается их высокой стоимостью, удовлетворительными смазочными свойствами при трении пар цветной металл — сталь, полимер-сталь и низкими смазочными свойствами при трении пары сталь — сталь, чугун — сталь. Несмотря на успехи в области синтеза олигоорганосилоксановых жидкостей различного состава и структуры, подбора присадок механизм смазочного действия данных соединений изучен недостаточно.

Целью настоящей работы является анализ существующих представлений о механизме смазочного действия олигоорганосилоксановых жидкостей, используемых в качестве дисперсионных сред пластичных смазочных материалов, при граничном режиме трения, который реализуется в трибосопряжениях транспортных систем. Выявить факторы, влияющие на механизм смазочного действия олигоорганосилоксановых жидкостей. Провести испытания олигоорганосилоксановых жидкостей, содержащих молекулы различного строения и состава.

Представления о механизме смазочного действия олигоорганосилоксановых жидкостей. Эффективность смазочного действия олигоорганосилоксановых жидкостей определяется

зависимостью их вязкости от давления, скоростью сдвига в контакте трущихся пар, механическими свойствами металлов [5]. Исследование смазочных свойств олиготрифторпропилметилсилоксана и олигодиметилсилоксана на машине трения показали, что эффективность их смазочного действия определяется реологическими характеристиками, соотношением между этими характеристиками и механическими свойствами металлов трущихся пар. Методом электронографических исследований не было установлено присутствие ориентированных слоёв молекул олигоорганосилоксанов на поверхностях металлов в трибосопряжениях.

Плохие смазочные свойства олигоорганосилоксанов связывают с их неспособностью образовывать на трущихся поверхностях эластогидродинамическую плёнку достаточной толщины и объясняют тем, что последние не образуют ориентированных плотноупакованных слоёв типа «частокола», а склонны располагаться в силу специфических особенностей природы и строения — спиралевидной конфигурации их молекул на поверхности металлов «плашмя». Благодаря высокой поляризуемости связи Si — O — Si теоретически каждая из этих групп может быть центром аттракционного взаимодействия с поверхностью твёрдой фазы, что обуславливает горизонтальную ориентацию этих молекул при адсорбции [7].

При движении от поверхности подложки вглубь жидкости ослабевает влияние силового поля твёрдой фазы и происходит разрушение полимолекулярного граничного слоя. Ориентация молекул меняется, что приводит к увеличению вязкости, которое наблюдалось при толщине слоя свыше 2…3 нм. Выше 15…20 нм вязкость падает вследствие свёртывания молекул в клубки и далее остаётся постоянной в исследуемых пределах толщин, соответствуя таковой в объёме жидкости. Влияние силового поля твёрдой фазы не ограничивается мономолекулярным слоем, а распространяется вглубь жидкости, меняя её структуру и свойства.

На поверхностях трения при смазывании олигодиметилсилоксановыми жидкостями были обнаружены [8] поперечно-сшитые плёнки, образование которых объяснено окислительным отщеплением боковой алкильной цепи, а смазочная способность — частично наличием эластогидродинамики, частично образованием полимерной лаковой плёнки.

По мнению других авторов, между металлом трущейся пары могут существовать плёнки двух типов: одни образуются благодаря отщеплению боковых радикалов олигодиметилорганосилоксанов и поперечному сшиванию, другие — взаимодействием силоксановой связи с металлической поверхностью.

В олигоорганосилоксанах введение хлора в фенильную группу (ХС-2-1, ХС-189, ХС-191, ХС-193, ХС-196) [10]:улучшает их смазочные свойства и уменьшает горючесть; при введении атомов фтора в γ-положении к атому кремния повышаются термостойкость и полярность молекул; при введении тиенильной ($–C_4H_3S$)-группы повышается смазочная способность при сохранении термо- и морозостойкости.

Полагают [3, 4, 9, 10], что атомы хлора в фенильной группе олигохлорсилоксана активируются в горячих точках трибосопряжения при трении пары металл — металл. Атомы хлора с металлом образуют тонкую плёнку хлорида металла на поверхности, что способствует снижению сил трения и предотвращает заедания. Лучшими смазочными свойствами олигоорганосилоксаны обладают при общем содержании хлора 8—16 % (масс.), что соответствует четырём монохлорфенильным или двум дихлорфенильным радикалам.

Улучшенными смазочными свойствами обладают олигометил-γ-трифторпропилсилоксаны (ФС-Т-5, ФС-61, ФС-107, ФС-169, ФС-328) [3, 4, 11]. Линейные олигометил-γ-трифторпропилсилоксаны имеют худшие смазочные свойства по сравнению с разветвлёнными олигодиметил (метил-γ-трифторпропил) силоксанами. При одинаковой молекулярной массе и содержании фтора плотность упаковки молекул с объёмными радикалами на концах цепи существенно меньше, чем в

олигомерах с γ-трифторпропильными радикалами в средних звеньях цепи, и проявляются лучшие смазочные свойства.

Введение атомов фтора в обрамляющие радикалы улучшает смазочные свойства олигоорганосилоксанов вследствие увеличения полярности их молекул и адсорбционного пластифицирования трущихся поверхностей. Возможно также дегалогенирование боковых радикалов олигоорганосилоксанов и образование фторидов металлов.

У олигометил-γ-трифторпропилдихлорфенилсилоксанов, содержащих одновременно атомы хлора и фтора в молекулах при трении пары сталь-сталь, был обнаружен синергизм их смазочного действия [4]. Смешанные олигомеры, содержащие в составе молекул одновременно хлорфенильные и метил-γ-трифторпропильные радикалы, обладают улучшенными смазочными свойствами.

Повышенную смазочную способность имеют олигоорганоалкоксисилоксаны [3, 4], содержащие алкокси-группы ($–OC_nH_m$) с числом углеродных атомов выше 5—6. Реакционная способность связи >Si–O–C< олигомера в значительной степени зависит от природы заместителей у атома кремния. Термическая стабильность олигоорганоалкоксисилоксанов зависит от природы заместителей у атомов кремния и алкокси-группы, а смазочные свойства зависят от наличия алкокси-группы.

Олигометил- и олигофенилфторалкоксисилоксаны обладают малой зависимостью плотности от температуры, низкими значениями коэффициента объёмного расширения. Наличие атомов фтора в алкокси-группах ещё более повышает полярность связи >Si–O–C<, стабильность к гидролитическому расщеплению, улучшает их смазочные свойства. Улучшенными смазочными свойствами обладают олиготиенилфторалкоксисилоксаны, что объясняется синергетическим влиянием присутствия в молекулах олигомера атомов серы и фтора.

На долговечность трибосопряжений, смазанных олигоорганосилоксановыми жидкостями, существенную роль играет формирование граничных смазочных слоёв на металлической поверхности. В реальных условиях поверхность металла представляет собой сложную систему оксидов, адсорбированных слоёв газов и воды, на которых, в свою очередь, адсорбируются слои полярных и неполярных молекул смазочных материалов [12].

В плоскости действия твёрдой фазы, по-видимому, происходит резкое нарушение конформационного равновесия в сторону разворачивания молекулярных клубков и последующая ориентация развёрнутых цепей в плоскости подложки. Благодаря высокой поляризуемости связи Si–O каждая из этих групп может быть центром актракционного взаимодействия с поверхностью твёрдой фазы, что обуславливает горизонтальную ориентацию этих молекул при адсорбции.

На смазочные свойства олигоорганосилоксанов оказывает влияние плотность упаковки молекул в граничных смазочных слоях. Молекулы олигоорганосилоксанов благодаря вращению боковых радикалов вокруг связи Si–O, по-видимому, не смогут сближаться на близкое расстояние, что приводит к образованию рыхлой упаковки молекул. Величина радикала также будет влиять на образование плотноупакованных граничных слоёв. При большой величине объёмного радикала разворачивание в поле твёрдой поверхности будет затруднено, что также ухудшит образование плотноупакованных смазочных слоёв и приведёт к потере гибкости молекул.

Горизонтальная ориентация молекул олигоорганосилоксанов, свобода вращения вокруг связи Si–O и Si–C, лабильность углов между атомами кремния и кислородом и, как следствие, невозможность образования плотноупакованных граничных смазочных слое являются причиной того, что олигоорганосилоксаны не могут образовывать граничные смазочные слои высокой несущей способности. При действии осевых нагрузок и скоростей при трении происходит пенетрация микронеровностями контактирующих поверхностей граничных смазочных слоёв и образование

металлического контакта. Контактирование поверхностей, по-видимому, определяет физико-химические процессы, происходящие в сопряжениях при смазывании олигоорганосилоксанами.

Выдвинуто предположение о механоокислительной деструкции, объясняющее механизм смазочного действия олигоорганосилоксанов [13, 15]. Согласно данному предположению, низкие смазочные свойства объясняются невозможностью образовывать плотноупакованные слои высокой нагрузочной способности. При трении контактирующих поверхностей, в результате развивающихся процессов схватывания, в олигоорганосилоксанах накапливаются мелкодисперсные продукты износа, вызывающие нарушение сплошности граничного слоя и способствующие ещё более интенсивному контактированию трущихся поверхностей. Непрерывно накапливающиеся продукты при действии на них нагрузок вызывают механическую деструкцию молекул олигоорганосилоксанов. Окислительная деструкция происходит под действием температур, возникающих при трении и действующих извне. Продукты схватывания контактирующих поверхностей и механоокислительной деструкции могут действовать как абразив, вызывая износ трущихся поверхностей.

Материалы и методики исследований. Проводили сравнительные испытания олигоорганосилоксановых жидкостей: олигоэтилсилоксановой — 132-25, олигодиметилсилоксановой — ПМС-200, олигометилфенилсилоксановой — ПФМС-4, содержащих в своём составе соответственно этильные, метильные, метилфенильные радикалы, а также гетероатомы фтора в алифатическом радикале — ФС-328/300, гетероатомы хлора в ароматическом радикале — ХС-2-1ВВ; гетероатомы серы в тиенильном радикале — ПМТС-2/250ВВ.

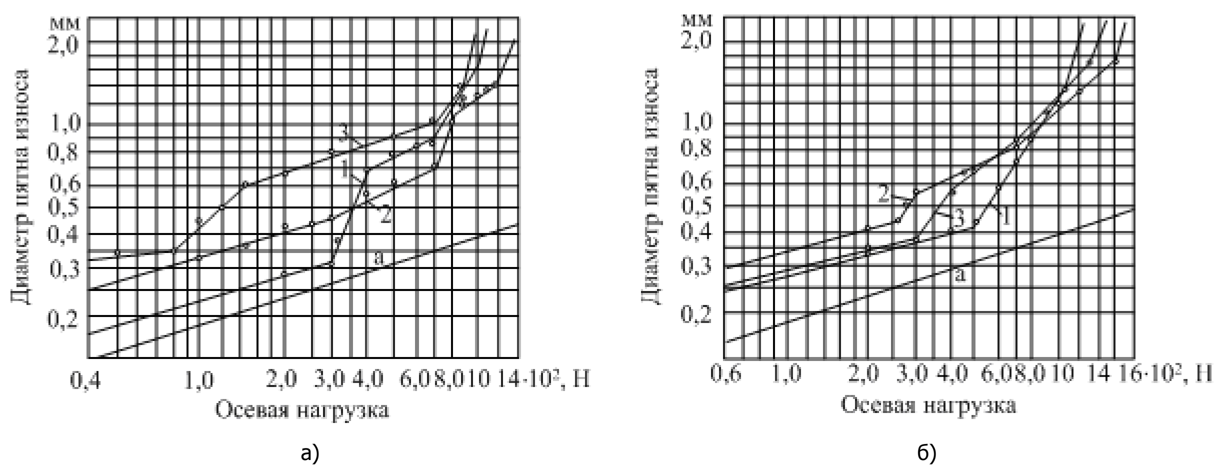
Испытания олигоорганосилоксанов проводили по методике комплексной сравнительной оценки смазочной способности масел на четырёхшариковой машине трения при одинаковых нагрузках [14]. Опыты проводили с использованием шаров диаметром 12,7 мм из стали ШХ15 HRC 60-62, при скорости вращения шпинделя 1000 мин$^{-1}$ (V = 0,41 м/с). Оценку смазочных свойств олигоорганосилоксанов: несущей способности — критической нагрузки заедания $P_к$, противозадирных свойств при $P \geq P_к$, нагрузки начала сваривания шаров $P_с$ проводили, испытывая их в течение 1 мин. при нанесении плёнки смазочного материала на поверхности испытуемых шаров, устанавливаемых в зажимном устройстве четырёхшариковой машины трения. Испытания проводили при температуре 15—24 °С и последовательном увеличении осевой нагрузки на 200 Н, начиная с 200 Н. В области критических нагрузок осевую нагрузку увеличивали или уменьшали на 200—100 Н. Противоизносные, антифрикционные свойства олигоорганосилоксанов, а также температуру оценивали в объёме данных жидкостей при испытании в течение 1 часа при одинаковых осевых нагрузках.

Исследование продуктов износа проводили на электронном микроскопе УЭМВ-100К. Готовили бесструктурные плёнки 1—5 %-го коллодия в амилацетате. Необходимую толщину плёнок получали путём нанесения капли раствора на водную поверхность. Приготовленные плёнки наносили на объектные сетки и просушивали на воздухе. Для исследования продуктов износа их наносили из раствора толуола на приготовленные плёнки. Продукты износа изучали на просвет и в режиме микродифракции.

Для исследования изменений, происходящих с олигоорганосилоксанами в процессе испытаний, сравнивали ИК-спектры эталона (неиспытанных) и испытанных олигоорганосилоксановых жидкостей при осевых нагрузках меньше равных и более P_K. Исследования изменений в структуре олигоорганосилоксанов проводили на двухлучевом ИК-спектрометре UR-20. Съёмку ИК-спектров проводили с жидкостей, приготовленных в виде 5 %-го раствора в четырёххлористом углероде с компенсирующей кюветой, содержащий чистый растворитель.

Результаты испытаний и их обсуждение. Несущая способность и противозадирные свойства олигометил — 132-25; олигодиметил — ПМС-200; олигометилфенил — ПФМС-4 силоксанов; олигометилфтор — ФС-328/300; олигохлорфенил — ХС-2-1ВВ; олигометилтиенил — ПМТС-2/250 ВВ

силоксанов при ступенчатом увеличении осевой нагрузки приведены на рис. 1, *а*, *б*. Критические нагрузки заедания $P_К$ для жидкостей соответственно равны 132-25 — 320 Н, ПМС-200 — 290 Н, ПФМС-4 — 80 Н, ФС-328/300 — 490 Н, ХС-2-1ВВ — 330 Н ПМТС-2/250 ВВ —280 Н. Различие в критических нагрузках при испытании олигоорганосилоксанов объясняются различной структурой радикалов, обрамляющих силоксановую цепь. По степени ухудшения смазочных свойств олигоорганосилоксановые жидкости располагаются в следующей последовательности: содержащие этильные (132-25), метильные (ПМС-200), фенильные (ПФМС-4) радикалы (рис. 1, *а*, кривые *1*, *2*, *3*). Введение гетероатомов фтора в алифатический радикал на концах силоксановой цепи — ФС-328/300 (рис. 1, *б*, кривая *1*) увеличивало несущую способность по сравнению с олигоэтил- (320 Н), олигометил- (290 Н) силоксановыми жидкостями до 490 Н. Введение гетероатомов хлора в фенильный радикал — ХС-2-1ВВ (рис. 1, *б*, кривая *2*) улучшало несущую способность и противозадирные свойства олигоорганосилоксана по сравнению с ПФМС-4, не содержащего гетероатомов хлора, с 80 Н до 330 Н. Олигоорганосилоксан ПМТС-2/250 ВВ с гетероатомами серы в тиенильном радикале (рис. 1, *б*, кривая 3) имеет наибольшую несущую способность — 900 Н.



а) б)

Рис. 1. Несущая способность и противозадирные свойства: а: 1 — олигометил — 132-25; 2 — олигодиметил — ПМС-200; 3 — олигометилфенил — ПФМС-4 силоксанов; б: 1 — олигометилфтор — ФС-328/300; 2 — олигохлорфенил-ХС-2-1ВВ; 3 — олигометилтиенил — ПМТС-2/250 ВВ силоксанов; а — линия упругой деформации по Герцу

Содержащие этильные (132-25), метильные (ПМС-200), фенильные (ПФМС-4) радикалы — рис. 1, *а*, кривые 1, 2, 3. Введение гетероатомов фтора в алифатический радикал на концах силоксановой цепи — ФС-328/300 (рис. 1, *б*, кривая 1) увеличивало несущую способность по сравнению с олигоэтил- (320 Н), олигометил- (290 Н) силоксановыми жидкостями до 490 Н. Введение гетероатомов хлора в фенильный радикал — ХС-2-1ВВ (рис. 1, *б*, кривая 2) улучшало несущую способность и противозадирные свойства олигоорганосилоксана по сравнению с ПФМС-4, не содержащего гетероатомов хлора, с 80 Н до 330 Н. Олигоорганосилоксан ПМТС-2/250 ВВ с гетероатомами серы в тиенильном радикале (рис. 1, *б*, кривая 3) имеет наибольшую несущую способность — 900 Н.

Нагрузки начала сваривания шаров у ФС-328/300, ХС-2-1ВВ и ПМТС-2/250 ВВ составляли соответственно 1100 Н, 1300 Н, 1500 Н. В то время как у 132-25, ПМС-200, ПФМС-4 эти нагрузки составляли — 1000 Н, 1200 Н, 850 Н. Из табл.1 следует, что при сравнительных испытаниях в течение 1 часа при осевых нагрузках 150 Н и 300Н наилучшими противоизносными свойствами обладали олигоорганосилоксановые жидкости ПМС-200, ФС-328/300, ХС-2-1ВВ, ПМТС-2/250 ВВ.

Улучшение несущей способности, противозадирных, противоизносных и антифрикционных свойств ПМС-200 объясняется возможностью образования поперечно-сшитой плёнки, при окислительным отщеплением боковой алкильной цепи; ФС-328/300, ХС-2-1ВВ, ПМТС-2/250 — образова-

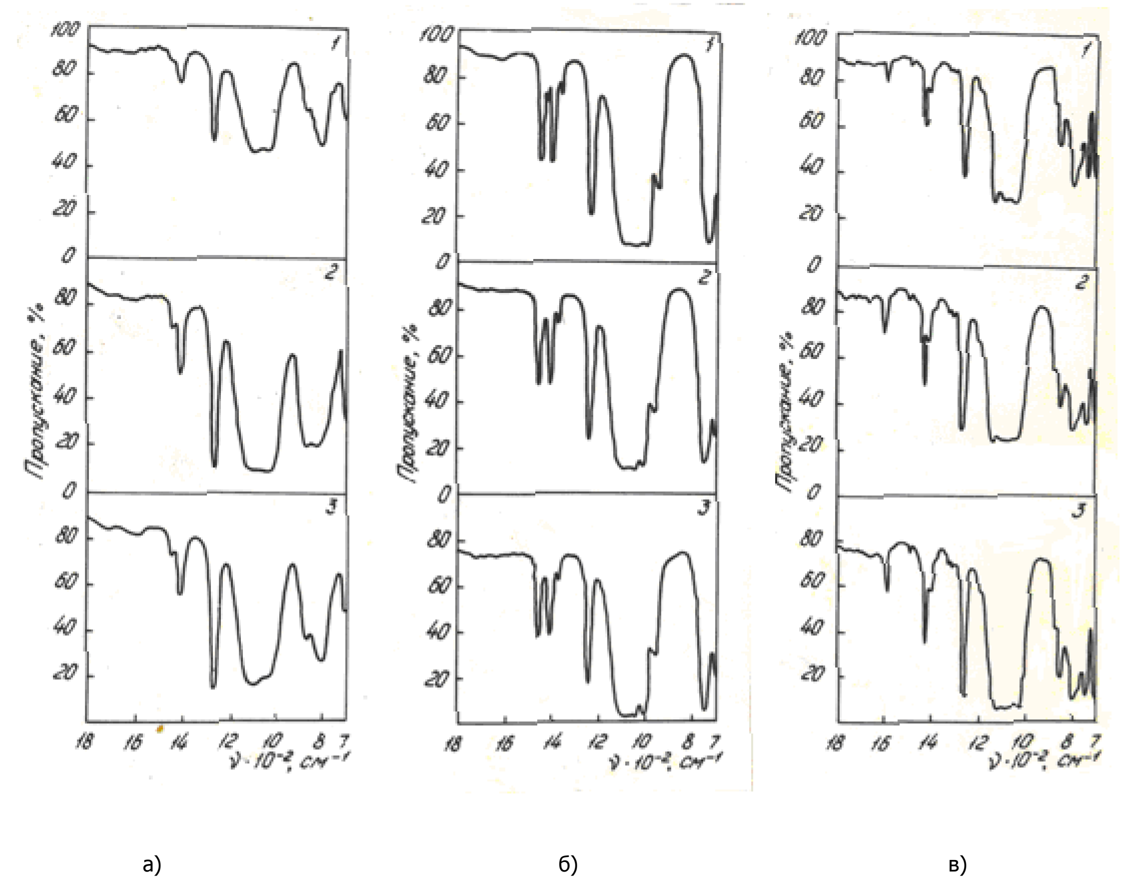
нием электронно-донорно-акцепторных комплексов (ЭДА) и, соответственно, фторидов, хлоридов железа, бистиенил железа.

Таблица 1

Противоизносные свойства олигоорганосилоксанов при одинаковых нагрузках

Смазочный материал	Условия смазывания	Осевая нагрузка					
		150 Н			300 Н		
		Диаметр пятна износа, мм	Коэффициент трения	Температура жидкости в ванне при установившемся режиме, °С	Диаметр пятна износа, мм	Коэффициент трения	Температура жидкости в ванне при установившемся режиме, °С
132-35	В жидкости	0,72	0,07-0,25	36	1,37	0,04-0,31	62
ПМС-200	-«-	0,61	0,18-0,11	38	0,76	0,12-0,16	65
ПФМС-4[1]	-«-	0,94	0,05-0,21	34	3,06	0,12-0,45	47
ХС-2-1ВВ	-«-	0,57	0,21-0,11	39	1,05	0,20-0,10	63
ФС-328/300	-«-	0,91	0,06-0,10	43	1,28	0,09-0,20	70
ПМТС-2/250ВВ	-«-	0,62	0,11-0,06	36	0,72	0,16-0,05	46

Общим недостатком всех испытуемых жидкостей является образование при осевых нагрузках меньших и больших критической P_K при длительных испытаниях продуктов старения. Для исследования изменений, происходящих с молекулами олигоорганосилоксанов, сравнивали ИК-спектры эталона (неиспытанных) и испытанных при осевых нагрузках меньших, равных и больших критической нагрузки. Результаты исследований приведены на рис. 2.



а) б) в)

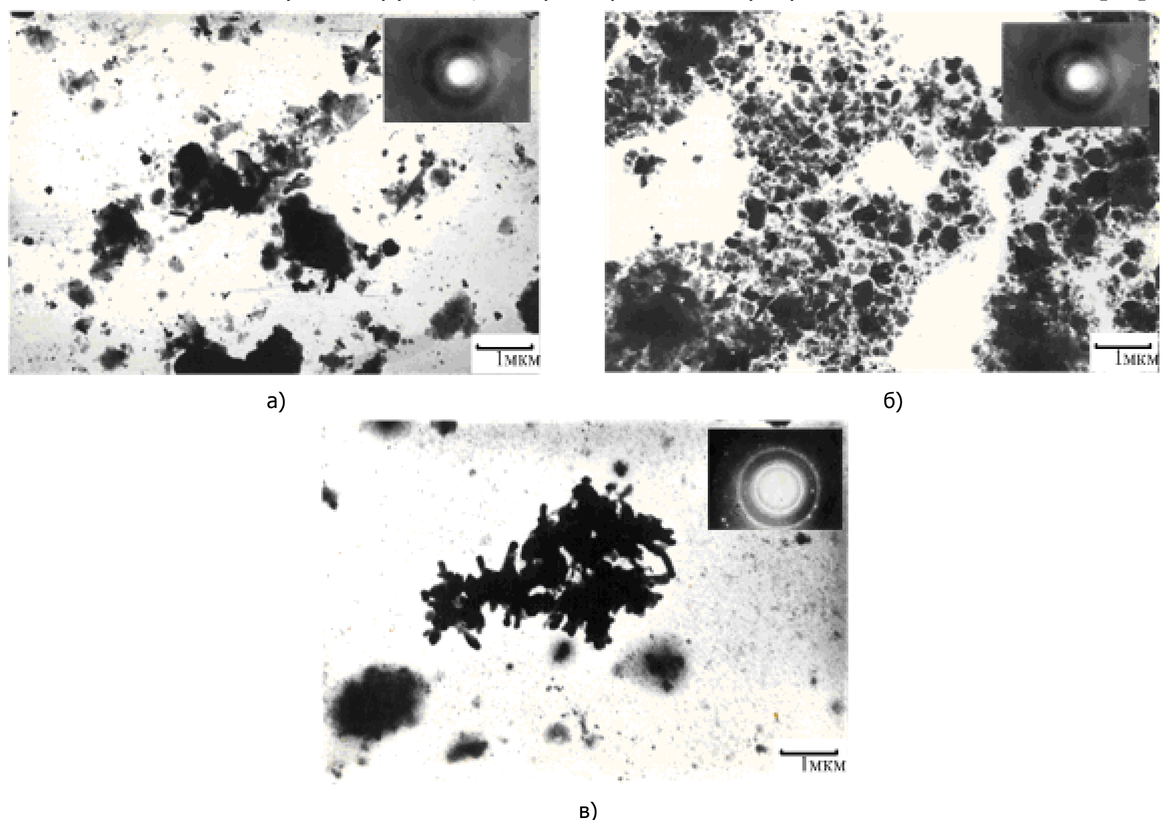
Рис. 2. ИК-спектры после испытания при различных осевых нагрузках: а — олигоэтилсилоксановой жидкости 132-35: 1 — эталон; 2 — Р = 150 Н; 3 — Р = 300 Н; б — олигодиметилсилоксановой жидкости ПМС-200: 1 — эталон; 2 — Р = 300 Н; 3 — Р = 500 Н; в — олигометилфенилсилоксановой жидкости ПФМС-4: 1 — эталон; 2 — Р = 80 Н; 3 — Р = 200 Н

[1] Противоизносные свойства ПФМС-4 определяли при осевых нагрузках 100 Н и 200 Н.

Расшифровка ИК-спектров олигоэтилсилоксановой жидкости 135-25 эталона (неиспытанной) и отработанной, испытанной при осевых нагрузках 150 Н, 300 Н, показала, что ИК-спектры после испытаний имели ту же качественную картину, что указывает на отсутствие изменений в молекулах жидкости. При исследовании олигометилсилоксановой жидкости ПМС-200 при осевых нагрузках 300 Н и 500 Н происходило некоторое увеличение интенсивности поглощения полосы 1265 см$^{-1}$ по отношению к полосе 1010—1130 см$^{-1}$. Аналогичное увеличение интенсивности поглощения наблюдалось при испытании жидкости ПФМС-4 при осевых нагрузках Р = 80 Н; Р = 200 Н, где обнаружено увеличение интенсивности поглощения полос в области 1265 см$^{-1}$, 1430 см$^{-1}$ по отношению к области 1030—1130 см$^{-1}$.

Увеличение интенсивности поглощения полос, соответствующих связи Si–C, по отношению к связи Si–O, можно объяснить разрывом связи Si–O. Однако прирост интенсивности поглощения полос соответствующей связи Si–C относительно Si–O невелик. Это указывает на то, что количество молекул с разорванными связями невелико и в механизме смазочного действия олигоорганосилоксанов продукты их деструкции, по-видимому, играют второстепенную роль.

Методом ИК-спектроскопии не был установлен разрыв связи Si–C. Разрыв последней был установлен наличием в испытанных жидкостях альдегидов, образующихся при атаке кислорода окружающей среды на боковые радикалы. В отработанную жидкость 132-25, растворённую в этиловом спирте и подкислённую соляной кислотой, вводился 2,4-динитрофенилгидрозон уксусного альдегида. При температуре плавления кристаллического вещества, отделённого от жидкой фазы, равной 144—145 °C, образовался 2,4-динитрофенилгидрозон уксусного альдегида. Проведённые исследования показали, что олигоорганосилоксаны в процессе граничного трения претерпевают механоокислительную деструкцию, которая протекает с разрывом связи Si–O и Si–C [13].



а) б)

в)

Рис. 3. Электронные микрофотографии и электронограммы продуктов износа после испытаний: а — олигоорганоэтилсилоксановой жидкости 132-25 при осевой нагрузке Р = 300 Н; б — олигодиметилсилоксановой жидкости ПМС-200 при осевой нагрузке Р = 500 Н; в — олигометилфенилсилоксановой жидкости при осевой нагрузке Р = 200 Н

На электронном микроскопе УЭМВ-100К исследовали продукты износа олигоорганосилоксановых жидкостей 132-25, ПМС-200, ПФМС-4.

На рис. 3, *а*, *б* в приведены микрофотографии и электронограммы продуктов износа, образующихся в жидкостях, которые представляли собой мелкодисперсные частицы. Об этом свидетельствуют размытые кольца электронограмм продуктов износа, образующихся в жидкостях 132-25, ПМС-200, ПФМС-4 (рис. 3, *а*, *б*), что вызвано ультрадисперсной нерегулярной структурой, сходной с аморфным состоянием с размерами кристаллов менее 10 нм.

При испытании ПФМС-4 при осевой нагрузке 200 Н продукты износа представляли собой агрегатированные частицы, отдельные из которых имели вид лепестков (рис. 3, *в*). При расшифровке электронограмм продуктов износа установлено, что они содержат α-Fe, γ-Fe. Наличие α-Fe в продуктах изнашивания указывает на возможность при трении пары сталь-сталь выделения тепла, достаточного для нагрева локальных объёмов металла выше критической точки $\alpha \rightarrow \gamma$ превращения, а также на возможность протекания окислительных процессов в олигоорганосилоксановых жидкостях.

Заключение. На основании анализа механизма смазочного действия, выявленного в результате изучения литературных данных и проведённых исследований, можно сделать вывод, что основными факторами, влияющими на смазочные свойства олигоорганосилоксановых жидкостей, являются: их реологические свойства; способность образовывать граничные смазочные слои и плёнки на трущихся поверхностях; материалы трибосопряжений и оксидные плёнки на контактирующих поверхностях; дисперсность продуктов изнашивания; механическая деструкция радикалов и молекулярных цепей; термоокислительная стабильность, способность адсобционного пластифицирования поверхностей трибосопряжений; состав газовой среды; длина и структура радикалов в середине и на концах силоксановых молекул; гибкость силоксановых цепей; плотность упаковки и полярность силоксановых цепей с обрамляющими радикалами; прививка силоксановых цепей на трущихся поверхностях; сшивка силоксановых цепей.

Для повышения смазочных свойств олигоорганосилоксановых жидкостей необходимо вводить добавки, повышающие нагрузочные и смазочные свойства их граничных слоёв и предотвращающие непосредственное контактирование трущихся поверхностей трибосопряжений.

Библиографический список

1. Олигоорганосилоксаны. Свойства, получение, применение / М. В. Соболевский и др.; под ред. М. В. Соболевского. — Москва: Химия, 1985. — 264 с.

2. Моцарев, Г. В. Карбофункциональные органосиланы и органосилоксаны / Г. В. Моцарев, М. В. Соболевский, В. Г. Розенберг. — Москва: Химия, 1990. — 240 с.

3. Шульга, Г. И. Пластичные смазочные материалы на основе компаундированных дисперсионных сред / Г. И. Шульга, Е. В. Скринников, Н. С. Арсеньева // Проблемы синергетики в трибологии, трибоэлектрохимии, материаловедении и мехатронике: мат-лы VI Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 2 нояб. 2007 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. — Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2007. — С. 29—31.

4. Шульга, Г. И. Триботехнические свойства компаундированной полиэтилорганосилоксановой жидкости с минеральными маслами / Г. И. Шульга, Е. В. Скринников, Н. С. Арсеньева // Проблемы синергетики в трибологии, трибоэлектрохимии, материаловедении и мехатронике: мат-лы VI Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 2 нояб. 2007 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. — Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2007. — С. 31—33.

5. Tabor, D. Silicone fluids: their action as boundary lubricants / D. Tabor, W. O. Winer // ASLE Trans., 1965. — V. 8. — № 1. — P. 69—77.

6. Archard, J. F. Film Ticknesses for a Range of Lubricants under Severe Stress / J. F. Archard, M. T. Kirk // J. Mech. Eng. Sci. (London), 1964. — № 6. — P. 101.

7. Граничная вязкость некоторых полидиметилсилоксанов / Б. В. Дерягин [и др.] // Доклады Академии наук СССР. — 1969. — Т. 187, № 4. — С. 846—849.

8. Tabor, D. The formation of silicone polymer films on metal surfaces at high temperatures and their boundary lubricating properties / D. Tabor, R. F. Willis // Wear. — 1969. — V. 13, № 3. — P. 413—442.

9. Дукаревич, М. В. Исследование смазочной способности полиорганосилоксановых жидкостей в зависимости от их состава и структуры / М. В. Дукаревич, И. И. Усс, Г. И. Фукс // Часы и часовые механизмы. Труды НИИЧАСПРОМА. — Москва, 1971. — Вып. 4. — С. 169—172.

10. Смазывающие свойства полиметилхлорфенилсилоксанов / Т. В. Королёва [и др.] // Пластические массы. — 1967. — С. 22—25.

11. Усс, И. И. Влияние состава фторированных полисилоксановых жидкостей на их смазочное действие при граничном режиме трения / И. И. Усс, М. В. Юсупова // Особенности конструирования и производства приборов времени. Труды НИИЧАСПРОМА. — Москва, 1973. — Вып. 12. — С. 152—155.

12. Ахматов, А. С. Молекулярная физика граничного трения / А. С. Ахматов. — Москва: Физматгиз, 1963. — 472 с.

13. Шульга, Г. И. Смазочное действие олигоорганосилоксановых жидкостей / Г. И. Шульга // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. — 1997. — № 4. — С. 38—45.

14. Шульга, Г. И. Методика комплексной сравнительной оценки смазочной способности масел на четырёхшариковой машине трения при одинаковых нагрузках / Г. И. Шульга // Трение, износ и смазка. Т. 295. — Новочеркасск: НПИ, 1974. — С. 82—86.

15. Кутьков, А. А. Исследование механизма смазочного действия полиорганосилоксанов при трении пары сталь — сталь / А. А. Кутьков, Г. И. Шульга, Н. М. Мамаев // Теория трения, износа и смазки: мат-лы Всесоюз. науч. конф. — Ташкент, 1976. — С. 49—50.

Материал поступил в редакцию 27.01.2012.

References

1. Oligoorganosiloksany`. Svojstva, poluchenie, primenenie / M. V. Sobolevskij i dr.; pod red. M. V. Sobolevskogo. — Moskva: Ximiya, 1985. — 264 s. — In Russian.

2. Moczarev, G. V. Karbofunkcional`ny`e organosilany` i organosiloksany` / G. V. Moczarev, M. V. Sobolevskij, V. G. Rozenberg. — Moskva: Ximiya, 1990. — 240 s. — In Russian.

3. Shul`ga, G. I. Plastichny`e smazochny`e materialy` na osnove kompaundirovanny`x dispersionny`x sred / G. I. Shul`ga, E. V. Skrinnikov, N. S. Arsen`eva // Problemy` sinergetiki v tribologii, triboe`lektroximii, materialovedenii i mexatronike: mat-ly` VI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., g. Novocherkassk, 2 noyab. 2007 g. / Yuzh.-Ros. gos. texn. un-t. — Novocherkassk: YuRGTU (NPI), 2007. — S. 29—31. — In Russian.

4. Shul`ga, G. I. Tribotexnicheskie svojstva kompaundirovannoj polie`tilorganosiloksanovoj zhidkosti s mineral`ny`mi maslami / G. I. Shul`ga, E. V. Skrinnikov, N. S. Arsen`eva // Problemy` sinergetiki v tribologii, triboe`lektroximii, materialovedenii i mexatronike: mat-ly` VI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., g. Novocherkassk, 2 noyab. 2007 g. / Yuzh.-Ros. gos. texn. un-t. — Novocherkassk: YuRGTU (NPI), 2007. — S. 31—33. — In Russian.

5. Tabor, D. Silicone fluids: their action as boundary lubricants / D. Tabor, W. O. Winer // ASLE Trans., 1965. — V. 8. — № 1. — P. 69—77.

6. Archard, J. F. Film Ticknesses for a Range of Lubricants under Severe Stress / J. F. Archard, M. T. Kirk // J. Mech. Eng. Sci. (London), 1964. — № 6. — P. 101.

7. Granichnaya vyazkost` nekotory`x polidimetilsiloksanov / B. V. Deryagin [i dr.] // Doklady` Akademii nauk SSSR. — 1969. — T. 187, № 4. — S. 846—849. — In Russian.

8. Tabor, D. The formation of silicone polymer films on metal surfaces at high temperatures and their boundary lubricating properties / D. Tabor, R. F. Willis // Wear. — 1969. — V. 13, № 3. — P. 413—442.

9. Dukarevich, M. V. Issledovanie smazochnoj sposobnosti poliorganosiloksanovy`x zhidkostej v zavisimosti ot ix sostava i struktury` / M. V. Dukarevich, I. I. Uss, G. I. Fuks // Chasy` i chasovy`e mexanizmy`. Trudy` NIICHASPROMA. — Moskva, 1971. — Vy`p. 4. — S. 169—172. — In Russian.

10. Smazy`vayushhie svojstva polimetilxlorfenilsiloksanov / T. V. Korolyova [i dr.] // Plasticheskie massy`. — 1967. — S. 22—25. — In Russian.

11. Uss, I. I. Vliyanie sostava ftorirovanny`x polisiloksanovy`x zhidkostej na ix smazochnoe dejstvie pri granichnom rezhime treniya / I. I. Uss, M. V. Yusupova // Osobennosti konstruirovaniya i proizvodstva priborov vremeni. Trudy` NIICHASPROMA. — Moskva, 1973. — Vy`p. 12. — S. 152—155. — In Russian.

12. Axmatov, A. S. Molekulyarnaya fizika granichnogo treniya / A. S. Axmatov. — Moskva: Fizmatgiz, 1963. — 472 s. — In Russian.

13. Shul`ga, G. I. Smazochnoe dejstvie oligoorganosiloksanovy`x zhidkostej / G. I. Shul`ga // Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Texn. nauki. — 1997. — № 4. — S. 38—45. — In Russian.

14. Shul`ga, G. I. Metodika kompleksnoj sravnitel`noj ocenki smazochnoj sposobnosti masel na chety`ryoxsharikovoj mashine treniya pri odinakovy`x nagruzkax / G. I. Shul`ga // Trenie, iznos i smazka. T. 295. — Novocherkassk: NPI, 1974. — S. 82—86. — In Russian.

15. Kut`kov, A. A. Issledovanie mexanizma smazochnogo dejstviya poliorganosiloksanov pri trenii pary` stal` — stal` / A. A. Kut`kov, G. I. Shul`ga, N. M. Mamaev // Teoriya treniya, iznosa i smazki: mat-ly` Vsesoyuz. nauch. konf. — Tashkent, 1976. — S. 49—50. — In Russian.

OLIGOORGANOSILOXANE FLUID LUBRICITY USED AS GREASE DISPERSION MEDIA IN TRANSPORT SYSTEMS

G. I. Shulga, E. V. Skrinnikov
(South-Russian State Technical University),
T. G. Shulga
(Rostov State Transport University)

The actual understanding of the oligoorganosiloxane fluids lubricity mechanism used as dispersion media of the lubricating grease under the boundary regime implemented in the transport system tribocouplings is analyzed. The oligoorganosiloxane fluids lubricity mechanism factors are revealed. The oligoorganosiloxane fluids containing molecules of different structures and composition are tested.
Keywords: *oligoorganosiloxane, lubricity, boundary layer, critical loads, antiwear and antifriction properties, oxidative destruction.*

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

УДК 101.3

Мудрость как социально-философская проблема

Н. И. Басина
(Донской государственный технический университет),
Е. А. Ковалёва
(Ростовская государственная консерватория им. С. В. Рахманинова)

Рассмотрен феномен мудрости в традиционном обществе и в обществе модерна. Выявлены истоки его маргинализации и перспективы возрождения в связи с изменением социального контекста. Обсуждены возможности и эффекты интеграции мудрости с другими формами общественного сознания.
Ключевые слова: *мудрость, философия, социальная память, традиционное общество, общество модерна.*

Введение. В последние годы мы становимся свидетелями очередного философского возрождения термина «мудрость», некогда оставленного в истории философии. И хотя софийность самой философии давно под вопросом, всплеск интереса к понятию мудрости не случаен. Сохранён ли прежний (хотя бы в общих чертах) смысл мудрости в современном философском дискурсе? «Изгнав» понятие мудрости из философии, не подорвали ли мы генетические основания самого философствования, возникшего «из любви к ней»? Ответы на эти вопросы авторы попытались найти в парадигме социально-философского рассмотрения.

Феномен мудрости стал предметом философских изысканий в ряде современных работ [4, 9, 17]. К недостатку мудрости как целостной формы познания человека и мира, сообщающей системные и прогностические эффекты практической деятельности человека, апеллируют учёные, политики, педагоги [18].

Целью данной работы является проблематизация мудрости в терминах социальной философии и продвижение к новой трактовке мудрости, исходящей из контекста современности.

София: историческая смена статуса. Мудрость — неизбежный атрибут традиционного общества, обеспечивавший социальную и технологическую преемственность поколений. «Технологической памятью» традиционной социальности выступала олимпийская (политеистическая) система, где каждый из богов-покровителей профессии разрабатывал, вводил и поддерживал необходимые для человеческого сообщества способы деятельности. Именная структура традиционализма («Олимп»), где хранились «бессмертные» деятельностные эталоны, и была своеобразной технологической памятью народа.

Творческий результат, достигнутый смертным индивидом, рассматривался как нелегитимный и нуждался в олимпийском опосредовании: «Стоило, например, Фериклу прославиться в кораблестроении, как тут же выясняется, что его любила и вдохновляла Афина» [14, 16]. Список научно-технических вкладов каждого из олимпийцев был обширен: «Афина, например, обучает смертных мужей сооружать боевые колесницы, строить корабли; она же учит людей обуздывать коней и запрягать быков; она изобретает плуг и борону, веретено и ткацкий станок, дарит афинянам маслину, ареопаг и законы. И так не только Афина» [14, 15]. «Девушки Греции чтят Афину за то, что она учит их рукоделию. Никто из смертных и богинь не может превзойти Афину в искусстве ткать. Знают все, как опасно состязаться с ней в этом, знают, как поплатилась Арахна, хотевшая быть выше Афины в этом искусстве» [63, 45]. М. К. Петров, концептуализировавший

исторические эпохи архаики и традиционализма через *матрицу имён*, отмечал невозможность существования «беспризорных технологий» в условиях традиции: все они обеспечены именами олимпийских богов [14, 18—25].

Мудрость архаических богов связана с космогониями, т. е. со знанием таинственного, сокровенного прошлого. Поскольку она сакральна, человеческие сообщества берегли её как зеницу ока, дабы она не оказалась обесцененной. Е. Я. Режабек отмечал, что, вопреки представлениям о приоритетности биологического выживания для Homo sapiens, уже на ранних этапах человеческой истории сфера сакрального поглощала сферу профанного. Структурообразующая матрица мифомышления устанавливается как *вербальный реализм*. «Слово (ритуал) не символизирует, не намекает на нуминозную мощь, а совпадает с нуминозной мощью, является носителем нуминозной мощи, носителем транспонированного качества нуминозности» [13, 59]. Слова — прерогатива нуминозных сил, в которых человеку отведено место управляемого.

С переходом от архаики к традиционализму для мудрости начинается новый этап — она приобретает значение практического умения и профессиональной сноровки. Техноморфный смысл *софии* сохраняется вплоть до эпохи высокой древнегреческой классики. А. Ф. Лосев отмечает, что хотя *софия* и переводится как «мудрость», но чаще указывает на умение, организованность, оформленность и сделанность вещей, т. е. «мудрость» подобно «искусству» трактуется как практическая деятельность [7, 351]. Особенно часто *софия* ассоциируется с мастерством кормчего и строителя. Согласно Аристотелю, эта мудрость является низшей ступенью софии, в то время как её высшей ступенью является та, что желательна ради неё самой и для познания, но не для извлекаемой из неё пользы [2, 68].

Как известно, понятие философии, впервые введённое пифагорейцами, обозначало *любовь к мудрости* (от φιλία — дружба-любовь и σοφία — мудрость). «На вопрос Леонта, флиунтского тирана, кто он такой, Пифагор ответил: «Философ», что значит «любомудр». Жизнь, говорил он, подобна игрищам: иные приходят на них состязаться, иные торговать, а самые счастливые — смотреть; так и в жизни иные, подобные рабам, рождаются жадными до славы и наживы, между тем как философы — до единой только истины» [5, 309]. Пифагор, как и его современники, полагал мудрость (софию) абсолютным знанием, принципиально недостижимым для человека, отчего последнему пристало лишь любить мудрость и стремиться к ней. О непреодолимой пропасти между философией и мудростью писал Платон, определяя философию через недосягаемый для неё предвечный образец, выполнявший работу «внутренней нормы»: философия — не мудрость как таковая, а способ существования и тип дискурса, определяемые *идеей мудрости* и *влечением к ней человека* [1, 62]. В мифе о пещере Платона идеал мудрости выглядит очень просто — как незамутнённый день: «надо душу повернуть от некоего сумеречного дня к *истинному дню бытия*: такое восхождение мы, верно, назовём стремлением к мудрости» [12, 303]. То есть с возникновением философии (теоретической формы сознания) для мудрости начинается новый этап — из сакральной она становится социальной. Этот процесс исторически проходит несколько стадий, но семантически выглядит как разветвление уже десакрализованной мудрости на самостоятельные ветви.

Показательно, что в более позднюю эпоху Парменид, конституировавший основоположения и искавший термин для обозначения новой *науки без названия* (будущей философии), ощущал необъяснимое благоволящее внимание неких *молодых богинь*, о чём он и сообщил в трактате «О природе» [11, 274—298]. Это тем более примечательно, поскольку речь шла о конституировании типа знания, противопоставившего себя мифологической традиции и замыканию на олимпийские теонимы, при этом нуждавшейся в теонимной легализации.

Мудрость софистов — новая веха, обозначившая низвержение элитарной мудрости с пьедестала и превращение её в мастерство речевых практик и во всеобщую гражданскую добродетель. Софисты остались в исторической памяти «торговцами и разносчиками знаний, продающи-

ми их оптом и в розницу всем желающим» [9, 266], утверждавшими только человеческую природу истины при отсутствии её единого инварианта. Согласно Протагору, текучесть событий приводит к тому, что вещи бытия являются человеку как разные и человек выступает мерой относительного бытия всех вещей. При этом софистами игнорировалось божественное начало меры, что вызвало в частности отповедь Платона, призвавшего: «Пусть у нас мерой всех вещей будет главным образом бог, гораздо более, чем какой-либо человек, вопреки утверждению некоторых» [10, 96].

Другим типом «обмирщения» мудрости в эпоху высокой классики становится философия Аристотеля. Аристотель выделял последовательность прохождения человеком четырёх ступеней истины, где опыт (empeiria), искусство (techne) и знание (episteme) замыкала мудрость (sophia), или владение логосом. *Первая мудрость* — это наука о первопричинах, т. е. умозрительное и замкнутое на себя знание начал, необходимое в качестве основы для *второй мудрости* — научного познания [2, 28—29]. Такая мудрость, хотя и декларируется как божественная, уже не имеет в своём содержании и способе получения ничего сверхчеловеческого.

Технологической софии оказалась близка софия «мусическая», источник вдохновения и пророческий дар у поэтов и трагедиографов, позволявшая поэту и пророку в мистическом озарении непосредственно слышать божественную истину бытия [8]. Но профессионально разделённую технологическую софию интегрировала *теоретическая номотетика*, или *софия философов*, освоившая логический формализм и постепенно наполнявшаяся нравственным и политическим содержанием. Философские тексты уже не могли транслироваться через уподобление прошлому, т. к. предполагали творческое новое (1) и нуждались в более эффективном механизме сжатия растущих объёмов информации (2). Двумя основаниями редукции новых авторских вкладов становятся: деяния великих законодателей (историческое сжатие) и универсалии древнегреческого языка с их потенциалом обобщения (теоретическое сжатие) [16, 227].

У всех ипостасей софии — общие черты: божественность происхождения, трансцендентность, абсолютность, связь с человеком через образцы и предписания. Однако выход из традиционной эпохи — в творчество нового — был обозначен именно *софией теоретической*, философской номотетикой, по сути — наукой древнего мира. Традиционная мудрость образцов девальвировалась и теряла свои регулятивные функции.

Знание и мудрость. Древнегреческой философией была заложена традиция рационализма, которая обрела классическую форму науки Нового времени. «За чудом логического шага (античность) следует чудо экспериментальное (Возрождение)» [15, 69], где философия выступает формально-логической предпосылкой опытной науки. Научная рациональность превратилась в большее, чем способ теоретического мышления — в существенный компонент общественного мировоззрения и дискурсивной традиции. Социальный институт науки, где логический формализм греков впервые соединился с экспериментом, а спустя столетие — с прикладной и академической составляющей, во многом создал общество модерна. Приоритет научной теории, являющейся экспериментально подтверждённым, непротиворечивым, однозначным, описывающим всю совокупность однотипных фактов и лишь уточняемым, но не отвергаемым будущим развитием науки истинным знанием с перспективой его технологического приложения — создал особый эпистемологический и социальный статус науки, оттеснив традиционные духовные практики на обочину исторического процесса. Впервые в истории оказались чётко противопоставлены: фиктивность неверифицируемой способности целостного духовного ви́дения (1) и «единственная реальность» дискурсивной рассудочной способности (2). Традиция Просвещения была выстроена на мировозренческом отрицании сакрального (при этом она допускала избирательную сакральность внутри социальной жизнедеятельности). Вековая мудрость становится маргинальной и «окончательно» уступает место рассудку и секуляризованному знанию.

Однако с XVIII в. обнаружила себя негативная реакция на строгость научного метода, выразившаяся в появлении романтических, экзистенциальных, феноменологических, виталистических версий человека. В XX в. оказались востребованы многообразные типы альтернативного миропонимания, подчас откровенно враждебного по отношению к рационализму. Принципы рациональности рассматривались как исчерпанные, и остро встала проблема демаркации научного и вненаучного знания. Наиболее наступательная позиция была выражена П. Фейерабендом, предложившим рассматривать науку как *наиболее агрессивный и догматичный религиозный институт* [19, 18], декларировавшим тем самым принципиальную идентичность рациональных и иррациональных дискурсивных практик, равно отягощённых человеческой субъективностью.

В. С. Библер убедительно показал, что концепт «наукоучения», фундаментальный для философии Нового времени, к началу двадцатого столетия окончательно исчерпал себя [3]. Философия ещё продолжала скитаться в дебрях гносеологизма, но точные науки уже перестали быть источником вдохновения для философии. Напротив, выстроенная на их почве методология становилась вызывающе некорректной. Финал тысячелетия был заполнен поисками новой гуманитарной матрицы, которая не только избавила бы от «жести» исторического, природного, лингвистического и иного детерминизма, «окончательно» признав мир нестабильным, рациональное знание — неисчерпывающим, но которая радикально обновила бы связи *человека и мира,* трансформировавшиеся в отношения *человека* с *текстом, затекстом, интертекстом, референтом («действительностью»);* матрицы, покинувшей выхолощенную однозначность теоретизма. Постмодернизм, обрушивший логоцентризм классики, сам оказался маргинальным. Новая матрица, соответственно, не должна была быть «тесной», её категориальности следовало стать неточной, скроенной «на вырост», призванной развернуть новые возможности. Концепт мудрости был предложен как один из способов выхода из кризиса, поразившего европейское философское мышление в прошлое столетие.

«Переход», «стояние на пороге», «пребывание на границе» — состояние, различные модусы которого остро переживаются современным человеком. Основные параметры совершенно новой онтологической ситуации заданы человеку культурно-исторически. Как отмечал В. С. Библер, «человек Европы <…> оказывается где-то в промежутке различных встречных и пересекающихся смысловых кривых… Индивид теряет комфортное место «точки» на некой единственной восходящей траектории… В таком промежутке ни один осмысленный поступок уже не имеет абсолютной исторической или ценностной санкции. Каждый поступок (если он хоть как-то осознан) всегда что-то переступает, несёт в себе риск перерешения… Все эти ценностные и смысловые спектры оказываются значимыми одновременно; каждый смысл вновь и вновь претендует на единственность и всеобщность, и вместе с тем в XX веке все эти всеобщие ценностные спектры действительно осмыслены (а не просто указующе-регулятивны) только в общении друг с другом, только в ответ на вопрос иного смысла. И — только в атомарном средоточии каждого индивидуального сознания и бытия» [3, 262—263].

Человек, покинувший «задушевное детство» традиционализма, оказался в ситуации неопределённости, открытости, где он принуждён действовать. Его самоуверенность, первоначально исходившая от мудрости мира единственной коллективности, а затем — от рациональности, конституированной теоретическим миром, откуда изгнан человек — носитель субъективности, оказалась непрочной. Необходимо преодоление ограниченности *готового бытия,* уже ничему не соответствующего. Для человека эпохи модерна существует *задание,* но нет *образцов.* К этому новому усилию современный человек оказался не готов.

Отправной точкой философствования стал безусловный уход от гносеологизма. В качестве контрагентов науки сегодня рассматриваются искусство, антинаука, паранаука, религия, парарелигия, «здравый смысл». Каждый из контрагентов локализовал собственную версию «аутентич-

ной мудрости», по сути, «мнение». Встала проблема «поиска лучших мнений в отсутствие точных знаний» [20], что позволяет мудрости вновь претендовать на оставленные социальные позиции.

Заключение. Регулятивный потенциал мудрости оказался востребован в условиях множественности несогласующихся друг с другом регулятивов и в ситуации, когда утеряно единство историко-философского процесса. Мудрость сегодня притязает на системно-историческое ви́дение, т. е. у мудрости появилась перспектива философского возрождения.

Библиографический список

1. Адо, П. Что такое античная философия? / П. Адо. — Москва: Изд-во гуманитарной лит-ры, 1999.

2. Аристотель. Метафизика // Сочинения в 4 тт. Т. 1 / Аристотель; под ред. В. Ф. Асмуса. — Москва: Мысль, 1976.

3. Библер, В. С. От наукоучения — к логике культуры (два философских введения в двадцать первый век) / В. С. Библер. — Москва: Политиздат, 1991.

4. Вильданова, Г. Б. Онто-гносеологические основания мудрости и истины: дис. … д-ра филос. наук. — Уфа, 2009.

5. Диоген Лаэртский. О жизни, учениях и изречениях знаменитых философов / Диоген Лаэртский. — Москва: Мысль, 1986.

6. Кун, Н. Легенды и мифы Древней Греции / Н. Кун. — Махачкала: Дагучпедгиз, 1986.

7. Лосев, А. Ф. История античной эстетики (ранняя классика) / А. Ф. Лосев. — Москва: АСТ, 2000.

8. Майоров, Г. Г. Роль Софии-Мудрости в истории происхождения философии [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://library.by/portalus/modules/philosophy/readme.php?subaction=showfull&id=1108110148&archive=0215&start_from=&ucat=1&.

9. Назаров, В. Н. Феноменология мудрости: образы мудреца в истории культуры. — Тула: ТГПУ им. Л. Н. Толстого, 1993.

10. Нерсесянц, В. С. История политических и правовых учений / В. С. Нерсесянц. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва: Норма, 2004.

11. Парменид. О природе / Парменид // Фрагменты ранних греческих философов. От эпических теокосмогоний до возникновения атомистики. — Москва: Наука, 1989.

12. Платон. Государство // Филеб, Государство, Тимей, Критий / Платон. — Москва: Мысль, 1999.

13. Режабек, Е. Я. Становление мифологического сознания и его когнитивности / Е. Я. Режабек // Вопросы философии. — 2002. — № 1.

14. Петров, М. К. Античная культура / М. К. Петров. — Москва: РОССПЭН, 1997.

15. Петров, М. К. Философские проблемы науки о науке / М. К. Петров. — Москва: РОССПЭН, 2006.

16. Петров, М. К. История европейской культурной традиции и её проблемы / М. К. Петров. — Москва: РОССПЭН, 2004.

17. Петрова, Г. Д. Народная мудрость: социально-философский анализ на основе самобытности национальных культур Среднего Поволжья: дис. … д-ра филос. наук. — Чебоксары, 2005.

18. Садовничий, В. А. Знание и мудрость в глобализирующемся мире / В. А. Садовничий // Вестник ВГУ. Серия «Гуманитарные науки». — 2005. — № 2.

19. Фейерабенд, П. Избранные труды по методологии науки / П. Фейерабенд. — Москва: Прогресс, 1986.

20. Эпштейн, М. Н. Проективный словарь философии [Электронный ресурс] / М. Н. Эпштейн // Топос: литературно-философский журнал. — Режим доступа: http://www.topos.ru/article/2125.

Материал поступил в редакцию 22.12.2011.

References

1. Ado, P. Chto takoe antichnaya filosofiya? / P. Ado. — Moskva: Izd-vo gumanitarnoj lit-ry`, 1999. — In Russian.

2. Aristotel`. Metafizika // Sochineniya v 4 tt. T. 1 / Aristotel`; pod red. V. F. Asmusa. — Moskva: My`sl`, 1976. — In Russian.

3. Bibler, V. S. Ot naukoucheniya — k logike kul`tury` (dva filosofskix vvedeniya v dvadczat` pervy`j vek) / V. S. Bibler. — Moskva: Politizdat, 1991. — In Russian.

4. Vil`danova, G. B. Onto-gnoseologicheskie osnovaniya mudrosti i istiny`: dis. … d-ra filos. nauk. — Ufa, 2009. — In Russian.

5. Diogen Lae`rtskij. O zhizni, ucheniyax i izrecheniyax znamenity`x filosofov / Diogen Lae`rtskij. — Moskva: My`sl`, 1986. — In Russian.

6. Kun, N. Legendy` i mify` Drevnej Grecii / N. Kun. — Maxachkala: Daguchpedgiz, 1986. — In Russian.

7. Losev, A. F. Istoriya antichnoj e`stetiki (rannyaya klassika) / A. F. Losev. — Moskva: AST, 2000. — In Russian.

8. Majorov, G. G. Rol` Sofii-Mudrosti v istorii proisxozhdeniya filosofii [E`lektronny`j resurs]. — Rezhim dostupa: http://library.by/portalus/modules/philosophy/readme.php?subaction=showfull&id=1108110148&archive=0215&start_from=&ucat=1&.

9. Nazarov, V. N. Fenomenologiya mudrosti: obrazy` mudrecza v istorii kul`tury`. — Tula: TGPU im. L. N. Tolstogo, 1993. — In Russian.

10. Nersesyancz, V. S. Istoriya politicheskix i pravovy`x uchenij / V. S. Nersesyancz. — 4-e izd., pererab. i dop. — Moskva: Norma, 2004. — In Russian.

11. Parmenid. O prirode / Parmenid // Fragmenty` rannix grecheskix filosofov. Ot e`picheskix teokosmogonij do vozniknoveniya atomistiki. — Moskva: Nauka, 1989. — In Russian.

12. Platon. Gosudarstvo // Fileb, Gosudarstvo, Timej, Kritij / Platon. — Moskva: My`sl`, 1999. — In Russian.

13. Rezhabek, E. Ya. Stanovlenie mifologicheskogo soznaniya i ego kognitivnosti / E. Ya. Rezhabek // Voprosy` filosofii. — 2002. — № 1. — In Russian.

14. Petrov, M. K. Antichnaya kul`tura / M. K. Petrov. — Moskva: ROSSPE`N, 1997. — In Russian.

15. Petrov, M. K. Filosofskie problemy` nauki o nauke / M. K. Petrov. — Moskva: ROSSPE`N, 2006. — In Russian.

16. Petrov, M. K. Istoriya evropejskoj kul`turnoj tradicii i eyo problemy` / M. K. Petrov. — Moskva: ROSSPE`N, 2004. — In Russian.

17. Petrova, G. D. Narodnaya mudrost`: social`no-filosofskij analiz na osnove samoby`tnosti nacional`ny`x kul`tur Srednego Povolzh`ya: dis. … d-ra filos. nauk. — Cheboksary`, 2005. — In Russian.

18. Sadovnichij, V. A. Znanie i mudrost` v globaliziruyushhemsya mire / V. A. Sadovnichij // Vestnik VGU. Seriya «Gumanitarny`e nauki». — 2005. — № 2. — In Russian.

19. Fejerabend, P. Izbranny`e trudy` po metodologii nauki / P. Fejerabend. — Moskva: Progress, 1986. — In Russian.

20. E`pshtejn, M. N. Proektivny`j slovar` filosofii [E`lektronny`j resurs] / M. N. E`pshtejn // Topos: literaturno-filosofskij zhurnal. — Rezhim dostupa: http://www.topos.ru/article/2125. — In Russian.

WISDOM AS SOCIAL AND PHILOSOPHIC PROBLEM

N. I. Basina
(Don State Technical University),
E. A. Kovaleva
(Rostov State Rakhmaninov Conservatoire)

The wisdom phenomenon in the traditional and modern types of society is considered. The sources of its marginalization, and the prospects of its revival in connection with the social context changes are discovered. The possibilities and effects of wisdom and the other social mind forms integration are discussed.
Keywords: *wisdom, philosophy, social memory, traditional type of society, modern type of society.*

УДК 301

Социально-философские аспекты модернизации России

Г. В. Драч
(Южный федеральный университет)

Обосновывается мысль о специфике российской цивилизационной традиции как важнейшем факторе модернизации. Только те страны, которые учитывали собственные культурные традиции (Япония, Южная Корея, Китай, Индия), смогли успешно модернизироваться. Модернизация России не может сводиться к односторонней «либерализации», что не должно означать её отказа от демократии.
Ключевые слова: *модернизация, культура, традиция, социальный опыт, либеральные ценности, демократия, рефлексия, свобода.*

Введение. Проблема социальной модернизации России является одной из наиболее дискуссионных, с ней связано и будущее экономического развития, и сохранение культурной идентичности, и многое другое. Судя по современным публикациям, имеются достаточные основания рассматривать модернизацию России областью практических решений, к сожалению, не всегда удачных, в то время как возникает вопрос о её теоретической состоятельности. Какие теоретические предпосылки могли бы конституировать данную область исследования, объединить авторов и акторов (субъектов социального действия), которые говорят порой на разных языках? Суть вопроса, по нашему мнению, состоит в выделении приоритетов: либерализация, глобализация, локализация (иногда их объединяют одним термином — «глокализация»). Чем отличается социально-философский анализ и каковы его преимущества?

Теоретические предпочтения. Проблема модернизации — не только России, но и многих других стран, успешно модернизировавшихся (Япония, Южная Корея, Китай, Индия, ЮАР) — коренится в установках XIX в. с его безоглядной верой в исторический прогресс и светлое будущее всего человечества и надеждами на рациональное переустройство общества. Создаётся впечатление, что целый мир встал на путь модернизации и успешно преодолел техническое и научное отставание, в то время как у нас в стране горячо обсуждается вопрос о достижении дореформенных показателей. Либеральными политиками вновь поднимается вопрос о том, что Россия «не соответствует» всему на свете и в первую очередь — «правам» и «свободам». А если уж не соответствует, то должна покаяться. В XX в. Россия (Советский Союз) отчаянно стремилась вести мир по пути социалистического будущего, и некоторые страны, опираясь на опыт СССР, добились серьёзных успехов (в том числе и США извлекли уроки из системы советского образования, не говоря уже о Китае). В конце прошлого века, и с этой установкой мы вошли в век XXI, обнаружилось, что мы опять не соответствуем. На сей раз либеральным ценностям. И настолько серьёзно не соответствуем, что наши западные партнёры ставили нам в пример «успешные, демократические» реформы в Ираке. Не будем развивать эту тему, догонять можно вечно [1]. Надо остановиться и осмотреться, и тогда мы увидим, что находимся совсем в другой эпохе, «эпохе постмодерна», с её недоверием к «метанарративам», к социалистическим (социализм с «человеческим лицом») и либеральным иллюзиям («права человека» для всех). Если XIX в. породил уверенность в универсальности и всесильности разума, то век XX развеял в прах иллюзии о законах исторического развития. Выводы же о «конце истории» и «триумфе либерализма» сменились размышлениями о «крахе либерализма как определяющей геокультуры нашей миро-системы» [2]. Видимо, надо отдавать себе отчёт в том, что модернизация России — это не в последнюю очередь проблема рефлексивная, свидетельствующая о необходимости осмысления её теперешнего состояния на фоне и в контексте происходящих в мире глобальных изменений, «конца знакомого мира».

Речь должна идти о специфике российских цивилизационных традициях, эти традиции и сыграли свою решающую роль в модернизации Японии, Китая и т. д. В этом случае, как справедливо отмечает А. Н. Ерыгин, открываются возможности «взаимной допустимости, дополнительности и внутреннего цивилизационного диалога православно и либерально ориентированных исторических практик и соответствующих течений русской мысли». Как отмечает этот известный учёный, «неудача либерализации страны в опыте её радикалистского решения, исключавшего толерантность в отношении к восточнохристианской традиции, резкое усиление цивилизационного негативизма в процессе осуществления социалистического варианта модернизации, традициональная «пустота» целого ряда современных попыток реформирования и преобразования советской системы в либеральном направлении — всё это явная симптоматика исторического тупика для России, если только не снизить напряжение, порождающее противостояние и «раскол» даже сегодня, когда «следы» цивилизационной традиции подверглись существенной эрозии» [3]. Модернизация не может быть игнорированием культурных традиций, она всегда остаётся переходом из традиции в современность и не может подчиняться императиву коммунистических, как это было, или либеральных, как это происходит сейчас, ценностей. В обоих случаях модернизационные процессы чреваты человеческими потерями и ущербностью поставленных целей и средств по их достижению, необходимо «толерантное совмещение этих ценностей с общим традиционалистским настроем цивилизационно-исторического способа существования общества (страны, народа)» [3].

Как рушатся империи. Неизбежно приходится отталкиваться от модернизационного опыта, который был в Советском Союзе. Вопрос состоит в том, что за коммунистическими ценностями и идеалами, которые «как дым от папиросы рассеялись во мгле», скрывалась серьёзная модернизационная модель, которая дала вполне осязаемые результаты. В Ростовском государственном университете в тот период по инициативе Ю. А. Жданова укреплялась научная составляющая образовательного корпуса. Создаются НИИ, расширяются факультеты. В 1970 году был образован самостоятельный философский факультет, который активно развивался. Особенно значимым было философское науковедение, т. н. «science of science». Здесь обосновывалась не только история культуры, но и практические сценарии повышения эффективности развития науки в Советском Союзе. Когда задумываешься о том, почему рухнул СССР, в числе других возникает вопрос: была ли наука эффективна настолько, насколько нужно? Суть проблемы состояла в том, что тяжёлая неподвижная система промышленного производства, не знавшая разнообразия форм собственности, не позволяла использовать научные наработки для технологического обновления.

Сегодня, благодаря тому, что в нашей стране принята установка на инновационное развитие, начинаешь понимать, как много было упущено в те годы. Если учитывать опыт ведущих зарубежных вузов, можно понять, что наши университеты могут быть не только пространством научной мысли. Это ещё и пространство разработки новейших технологий, вплоть до создания первых промышленных образцов. В американских университетах производство находится в их структуре. Благодаря тому, что есть научные наработки и производственные возможности, внедряются новые технологии; их обкатывают за пару лет, а через два года обновляют эти технологии, затем обкатывают новые, а отживающие «сбрасывают» в развивающиеся страны. В СССР такого механизма не могло быть в силу тяжеловесности плановой экономики. Кому и для чего было нужно обновление, если план и так выполнялся на 110—120 %? Всё вроде бы шло хорошо, а на самом деле копилось колоссальное отставание. Об этом и дискутировали ростовские профессора — М. М. Карпов, И. А. Негодаев, А. В. Потёмкин, этим штудиям были посвящены работы М. К. Петрова. Работы М. К. Петрова, Г. Н. Волкова поначалу получили поддержку в ЦК коммунистической партии. Но когда там осознали, что результаты исследований выливаются в обоснование социальных преобразований, не только прекратилась поддержка этих учёных, но, в конце

концов, Петрова даже отстранили от преподавательской работы. Идеологический контроль, неэффективность науки и образования свидетельствовали о надвигающейся катастрофе.

Либеральная Россия. Проблема культурных идеалов — для России это проблема выбора своего будущего. Было бы наивно полагать, что данный выбор осуществляют философы, гуманитарии или даже научное сообщество в целом. Но внести ясность в ряд вопросов, подвергнуть их философской рефлексии представляется и возможным, и необходимым. Что нас здесь ожидает, возможно ли в этой связи уточнение вопросов культурной самоидентификации России? Прежде всего, либеральные ценности и либеральные идеалы — это не только и не столько соционормативный фактор, сколько рефлексивно-регулятивный. То есть мы больше говорим о либеральных ценностях и либеральных реформах, чем имеем реальные подвижки на этом пути. Но и это важно, поскольку, не соглашаясь с великим Гёте, можно было бы сказать, что вначале всё-таки было слово. Итак, как мы представляем себе либерализм и как общественное течение, и как социальное явление?

А. Н. Ерыгин предпочитает говорить по отношению к России о русском либерализме, который явился в эпоху реформ 1861 года, с его идеалами нравственно-правовой организации общества. Разум как одна из базовых категорий, без которых не может быть понят либерализм, в этом понимании предстаёт как фундамент для позитивных социальных действий, для преобразования общества, одновременно и его сохранения как определённой социальной традиции. Другая позиция наиболее чётко была представлена в докладе профессора В. Ф. Пустарнакова. Он, прежде всего, подчёркивает то обстоятельство, что либерализм — это плод буржуазной Европы, как общественное течение он направлен на разрушение феодального строя, только в этом случае утверждаются принципы конституционного строя и примата личной свободы. Можно сказать, что в этом случае либерализм опирается и во многом равен Просвещению (в частности, во Франции), так что он во многом тождественен революционным преобразованиям, насильственной ломке прежнего социума.

Итак, возникает дилемма: как совместить либеральные ценности и социальную стабильность общества, либеральную экономику и государственное регулирование, интересы государства и интересы личной свободы? Более всего было бы непростительно в этом случае обосновывать какую-то умозрительную схему. Видимо, во внимание надо принять реальные историко-культурные факты. Первый из них — это культурно-исторический опыт: с одной стороны — Европы, Запада, а с другой стороны — России. В каждом случае это опыт уникален и неповторим. И было бы наивным полагать, что возможен единственный линейный путь развития, по которому прошла не только Европа, но который обязателен и для всех других стран. В этом случае Россия обречена постоянно догонять. И действительно, на этом пути у России не было классических образцов европейского Возрождения, Просвещения и Научной революции. А что же было? Неужели у России только опыт тоталитарного прошлого? Невозможно не учитывать глубокие исторические связи социального, политического и культурного характера России с Европой, не говоря уже о связях династических. И разве Россия не создала свою национальную науку, образование, культуру? Видимо, нельзя обходить молчанием то культурное достояние, которое является наследием нашей многовековой истории и её просвещенческих и потому либеральных традиций.

Здесь необходимо вспомнить о втором факторе, который необходимо учитывать при обсуждении проблемы. Либеральные ценности нужно погрузить в современный социокультурный контекст, каким выступает постиндустриальное общество. В этом контексте личная свобода человека не зависит от каких-либо условностей и ограничений, единственной нормой, регулирующей поведение человека, выступает закон. Нет нужды говорить о том, что такая ситуация предполагает мощные традиции правового регулирования общественной жизни, правосознания и законопослушания. Вряд ли можно утверждать, что у нас глубоки эти традиции. Так что вполне правомерно

говорить о том, что либеральные ценности в России в сфере образования, воспитания и межличностных отношений могут и должны быть дополнены ценностями традиционными, прежде всего, православными. Но не являются ли такими же традиционными ценностями для России и просвещенческие ценности, которые глубоко укоренены и в нашей классической литературе, и в нашей общественно-политической мысли? Нельзя ведь считать, что борьба западников и славянофилов — это попытки последних вовсе увести Россию с магистральных путей исторического развития. Просвещенческими традициями, по большому счёту, либеральными ценностями наполнена вся наша многомерная культура. Проблема состоит в том, чтобы они не были заменены постмодернистской культурой, постмодернистскими образами и символами. Россия не исчерпала возможностей Просвещения. Просвещение, образование, наука, личность — вот те либеральные ценности, которые являются базовыми и для нашей истории, и для современности.

Культурная идентичность России в европейском контексте. Решение проблемы кроется в простом вопросе: граждане мы или нет? Ответ на поставленный вопрос предполагает, на наш взгляд, рассмотрение исторического опыта России в контексте модернизационной парадигмы, которая лежит в основе Западной культуры как агонального типа культуры (культуры самообновления). Модернизационный опыт в России при этом может рассматриваться, с одной стороны, как ответ на внешний цивилизационно-исторический вызов и призыв к России со стороны Запада, с другой — как опыт культурного самопознания и самоопределения, необходимой предпосылкой которого выступает нахождение себя в зеркале европейской культурной традиции. Имеется в виду античная культура (исходный модернизационный импульс), вторая модернизационная волна (новоевропейская либеральная цивилизация), модернизационно-либеральный опыт России с учётом её собственной цивилизационно-исторической специфики. Особое внимание должно уделяться возрожденческой культурной парадигме, но обращение к европейскому социокультурному опыту начинается с античности.

Античная Греция — не историческая ступень, а способ существования, мир, в котором мы живём: наука и познание, истина и добродетель, умение различать прекрасное и безобразное — всё это её достижения. Ценности демократии — верховенство закона и личная свобода — требовали разрушения тотальности мифа и всяких сословных ограничений. Между тем разочарования в разуме и науке, наблюдаемые в современном обществе, свидетельствуют об угрозах грандиозному проекту социального мироустройства на основах разума, демократии и справедливости. Мир, теряющий свою трансцендентную привлекательность, требует личного мужества и самоопределения. Демократия как культура — это мир возможностей, целостность и смысл которого создаётся усилиями индивидуального разума и воли, что предполагает способность человека стать господином над обстоятельствами, осознать их и тем самым стать творцом культуры. История самосознания разума остаётся содержанием истории европейской культуры вообще, включая идею демократии.

В этом случае развитие демократии может рассматриваться как автономный процесс, а создание сферы социума как результат радикальных изменений в сфере практического разума, потери им прежних культурных значений. В античной культуре слово («логос»), разум («нус») и свобода («элевтерия») сопрягаются и создают мир демократии как неинституализированный мир греческих граждан, каждый из которых стремился к славе и победе. Слава — это высшая ценность героя, которая подтверждает его доблесть, «арете». Герой должен рассчитывать на собственные силы, с тем чтобы соответствовать своей доблести и сохранить «тиме». Здесь он проявляет разумный замысел и может даже превзойти богов. Однако этот замысел расценивается чаще всего как хитрость. Таков хитроумный герой Одиссей. Устойчивым же социальным механизмом регуляции общества, обеспечивающим в определённой степени рациональный порядок, который

олицетворяла «дике», выступает «айдос». Именно «айдос» — стыд и порицание со стороны других возвращает поведение героев к норме, обеспечивая рациональную устроенность мира.

Совершенно не случайно «нус» характеризует здесь не только степень рационального мироустройства, но и обнаружение скрытого плана конкретной ситуации. Для того чтобы разум стал нормой мироустройства, он должен был прежде стать мерой самосознания, а это связано с переходом от военных добродетелей к мирным, совершившимся в античном полисе, где «дике» стала рациональной правовой идеей, подлежащей обсуждению. Недаром «нус» как философское понятие появляется впервые в Афинах, у Анаксагора. Афины возглавили антиперсидскую коалицию и, объединив союзников, добились убедительной победы над персами, что способствовало дальнейшему расцвету демократического строя, утвердившегося в Афинах.

Особое значение приобретают народное собрание, народный суд, обсуждение всех государственные вопросов и демократическое их решение. В этих условиях огромную роль играет политическая подготовка граждан, обучение политическому искусству, «техне». В духовном пространстве античного полиса родились бессмертные образцы европейской культуры: рациональное самосознание и обретаемые на путях состязания и победы свобода и демократия. Агонистика (от греч. agon) — понятие, обозначающее состязание, борьбу, спорт, опасность, соревнование, соперничество. «Агон» как соревнование и победа представляет собой явление, пронизывающее все сферы жизни древних греков (военную, спортивную, культурную, политическую, судебную). Но отчётливо проявляется соперничество и напряжение уже на уровне повседневном, в отношениях между поселянами, например. Конечно, соперничество принадлежало, прежде всего, сфере военной: «…вечно победой блистать, над собой никакого не знать превосходства». Военные сражения и связанная с ними жестокость во многом раскрывают дух соперничества. Но с не меньшим накалом проходили у греков спортивные состязания и политическая борьба, которая привела, в конечном счёте, к демократии. Демократия не погасила остроты политической борьбы и нередко завершалась изгнанием противников за пределы города или их привлечением к суду. Даже в «конституционный» период, после проведения ряда реформ, в Афинах существовал обычай «остракизма» — изгнания неугодных лиц путём всеобщего голосования черепками керамики, удобный случай выразить своё недовольство, нанести удар сопернику.

Впрочем, не обсуждая различные варианты объяснения греческого чуда, а обратившись к историческому аспекту проблемы, можно объяснить греческую культуру «в динамике её развития». «Агон» высвобождал внутренние стимулы к художественному, интеллектуальному и политическому творчеству, что и позволило грекам совершить культурный переворот. То есть социальная динамика, как «агон», и полисная культура демократии, как её результат, заставляют возвращаться к характеристике «человека агонального», использовав выражение известного культуролога Якоба Буркхардта, который агониальное начало рассматривал как «движущую силу» в действиях личности. Главное её проявление — победить любой ценой (ценой потери имущества, денег, здоровья и даже самой жизни), но не нарушая установленных правил (игры по правилам). В последнем случае победа оборачивается поражением. Опасности, связанные с таким стремлением, очевидны. Но без этого невозможна победа, а в этом и состояла цель жизни каждого грека, без этого была бы невозможна демократия. Отсюда вытекает необычное честолюбие греков, стремление любой ценой достичь славы и известности, даже если это печальная слава Герострата, сжёгшего прекрасный храм Артемиды Эфесской. Но оно же побуждает к участию в общественной жизни, что и приводит к возведению Закона в высшую общественную ценность.

Агонистика — это показатель личной и социальной динамики, приобретаемый греками в ходе их социальной истории, прежде всего, при переходе от Микен с централизованно-бюрократической системой управления к полису с его верховенством закона, правами и обязанностями граждан. Но агонистика, состязательность уже сформировали личность с её чувством

собственного достоинства, защитой собственных интересов, признанием верховенства принятых правил. Всё это и объясняет рациональный тип личности с её устремлённостью к поиску неординарного решения и верховенства разума. Элементы агональной культуры прочно вошли в фундамент Европейской культуры. Это — права и достоинство личности, обязательность закона для всех, авторитет как способность «сохранить лицо» и т. д. С этим же связана высокая оценка творческого начала в деятельности личности, права авторства и запрет на плагиат, а также ориентация на «теорийный» (созерцательный) образ жизни, высокая оценка знания и науки, искусства, философии, которые вобрали в себя пафос и конкретные элементы агонистики.

Агонистика как фундамент и принцип Европейской культуры может быть понята только в корреляции с характерной для неё системой образования. Образование, культура связывают воедино рациональный пафос античного человека и его преклонение перед природой и её совершенством, «божественностью». Античный человек всем обязан образованию и воспитанию, что и делает его гражданином полиса. При этом надо учитывать, что «культура» — это в то же время и поклонение, почитание, культ. Прежде всего — религиозный. В древности человек постоянно находился в окружении богов: он встречался с ними в поле и в роще, в зелени деревьев, в тенистых гротах и в речных заводях, но боги жили и в городе. Здесь они обитали в доме человека, охраняя его домашний очаг, они же оберегали городские законы и безопасность граждан. Не случайно известный эллинист Макс Поленц вообще отождествлял религиозное благочестие и полисный патриотизм. Ведь отеческие боги оберегали родной город и жили в городе и на землях, окружающих город и входящих в его территорию.

Демократия сумела показать всему миру, что политика, право, социальное устройство — это те вопросы, во имя которых трудился греческий гений, поскольку главной целью античной культуры и философии были человеческая самодостаточность и человеческое счастье, а полис их обязательным условием. Итак, город — это и среда, и условие для полноценной демократической жизни. Не случайно закон в демократическом обществе — не только социальная норма, но ещё и форма индивидуальной рефлексии, самосознание индивида как полноправного гражданина. Античная демократия создала базовые культурные ценности Европейской государственности: возведение письменного закона в высшую норму социальной справедливости и социального правопорядка, равенство граждан перед законом и принцип разделения властей, свобода и благосостояние граждан как высшая цель государства и т. д. Древняя Греция сформировала демократическую парадигму культуры.

Сегодня, как и в прежние времена, фундаментальные философские исследования крайне необходимы. Модернизация должна быть подготовлена в гуманитарной области. Ведь философия всегда обращена к основополагающим вещам. От социального развития она ведёт к фундаментальному обоснованию развития науки, взаимоотношениям природы и человеческого познания, то есть тому, что «не возьмёшь» чистым социологическим или политологическим исследованием. В массе нынешних политологических анализов фундаментальности нет. Философия ещё со времён Аристотеля обосновывала социальные модели, рассматривала важные гражданские вопросы. Сегодня, когда происходят митинги и общественные возмущения, мы обращаемся к тем же фундаментальным вещам: в чём специфика социального развития в России? Может ли демократия прийти извне? Что такое вообще демократия? Что такое права человека?

Не получив верных ориентиров, человек в трёх соснах заблудится, что мы и видим сегодня. Должны быть услышаны подлинные идеалы философии, потому что она позволяет опираться на многовековую мысль, воспроизводить изначальные ценности — демократию, свободу. Демократия и свобода всегда были достоянием определённого гражданского сообщества. Не могу себе представить, что можно навязать свободу другому городу, государству, другой стране. Это значит поставить их в подчинённое положение по отношению к себе. Достоинство, свобода, демократия

требуют и самоуважения, и самоконтроля гражданин. Так что философское образование не только не утратило своего значения, но и приобрело новое звучание. Мы обязаны сказать своё слово в определении общественных ценностей, в формировании гражданского общества, что и выступает предпосылкой и содержанием модернизации.

Заключение. Создаётся впечатление, что сохраняется неистребимый осадок, свидетельствующий об определённой заданности проблемы, погружённости её в автономное контекстуальное поле, с соответствующими смысловыми нагрузками. Этим контекстом выступает и изменяющееся понимание субъектности и трансформация культурных традиций [4]. Решающим в этой конфигурации, что и может сделать модернизацию успешной, выступает гражданское самосознание.

Библиографический список

1. Драч, Г. В. Модернизация России: pro et contra / Г. В. Драч // Будущее России: стратегии философского осмысления. — Санкт-Петербург: Изд-во СПб. гос. ун-та, 2011. — 457 с.

2. Валлерстайн, И. Конец знакомого мира / И. Валлерстайн. — Москва: Логос, 2003. — 355 с.

3. Ерыгин, А. Н. Традиционная и модернизирующаяся Россия в философии истории русского либерализма (К. Д. Кавелин, С. М. Соловьёв, Б. Н. Чичерин). Ч. I / А. Н. Ерыгин. — Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 2004. — 376 с.

4. Новое понимание субъектности в различных контекстуальных полях. — Ростов-на-Дону: Изд-во ЮРИФ РАНХиГС, 2011. — 480 с.

Материал поступил в редакцию 11.01.2012.

References

1. Drach, G. V. Modernizaciya Rossii: pro et contra / G. V. Drach // Budushhee Rossii: strategii filosofskogo osmy`sleniya. — Sankt-Peterburg: Izd-vo SPb. gos. un-ta, 2011. — 457 s. — In Russian.

2. Vallerstajn, I. Konecz znakomogo mira / I. Vallerstajn. — Moskva: Logos, 2003. — 355 s. — In Russian.

3. Ery`gin, A. N. Tradicionnaya i moderniziruyushhayasya Rossiya v filosofii istorii russkogo liberalizma (K. D. Kavelin, S. M. Solov`yov, B. N. Chicherin). Ch. I / A. N. Ery`gin. — Rostov-na-Donu: Izd-vo Rost. un-ta, 2004. — 376 s. — In Russian.

4. Novoe ponimanie sub``ektnosti v razlichny`x kontekstual`ny`x polyax. — Rostov-na-Donu: Izd-vo YuRIF RANXiGS, 2011. — 480 s. — In Russian.

SOCIAL AND PHILOSOPHICAL ASPECTS OF MODERNIZATION IN RUSSIA

G. V. Drach
(Southern Federal University)

The idea on the Russian civilizational tradition specificity as the modernization key factor is proved. Only the countries which considered their own cultural traditions (Japan, South Korea, China, India) have managed to successfully modernize themselves. The modernization of Russia cannot be reduced to the unilateral "liberalization" that does not mean its waiver of democracy.

Keywords: *modernization, culture, tradition, social experience, liberal values, democracy, reflection, freedom.*

УДК 316

Нужна ли модернизация России?

Г. И. Колесникова, Е. Г. Курова
(Донской государственный технический университет)

На основе социально-философского дискурса рассматривается проблема модернизации в России.
Ключевые слова: *идеология, личность, сознание, модернизация, общество.*

Введение. В докладах чиновников различного уровня употребление понятия «модернизация» стало признаком хорошего тона. Не все понимают его значение. Однако прежде, чем что-либо заявлять, планировать или организовывать в этой области, следовало бы ответить на два вопроса: «Что такое модернизация?» и «Нужна ли она нам?».

Об истории и содержании понятия «модернизация». Понятие «модернизация» первоначально использовалось в технических науках для обозначения необходимости приведения объекта в соответствие с новыми техническими условиями, нормами, показателями качества. Впоследствии, как часто это случается в истории науки, понятие было воспринято гуманитариями и приобрело второе значение: процесс перехода объекта от традиционного состояния к модернистскому. Поскольку в современном мире страны находятся на разных уровнях развития, то учёные стали говорить о «лидирующих» странах и странах «догоняющих». При этом идея о том, что «кого-то надо догонять», принадлежит тем странам, которые сами зачислили себя в разряд лидирующих, забыв, что можно быть первыми и с конца — смотря, что именно брать за точку отсчёта.

Но зачем догонять «лидирующих», если «отстающим» и так хорошо? То есть им «плохо» с позиции «лидирующих», ведь они не имеют того, что имеют «лидеры». Вопрос, нуждаются ли в этом так называемые «отстающие», как правило, не ставится. Казахи были свободными воинствующими кочевниками, а теперь живут в нищей стране, которую привели к нищете те самые «лидеры». Спивающийся, вымирающий народ используется в качестве низкооплачиваемой рабочей силы на стройках постсоветского пространства. Значит, проблема «отстающих» не в том, что они «отстающие», а в том, что они «не такие», как «лидеры». При этом весьма размытые моральные нормы «лидеров» позволяют им использовать своё преимущество — более совершенное техническое оснащение.

Таким образом, вопрос необходимости модернизации общества тесно связан с идеологической политикой правящей элиты, направленной работой на изменение мировоззренческих оснований, прежде всего личностных. (Подобная работа на массовом уровне невыгодна власти, т. к. её эффект, скорее всего, будет ниже, а последствия трудно прогнозировать.)

Модернизация в постсоветский период. Постсоветский период характеризуется радикальными преобразованиями социалистической системы на политическом, социальном, экономическом, культурном уровнях. Приватизация государственной и коллективной собственности и переход её в собственность частную приводят к тому, что всё большее значение в обществе приобретают рыночные отношения — преобразуются законодательная, исполнительная, судебная власти. В системе государственного управления происходит всё большая децентрализация. Нарастающий процесс формирования многопартийности создаёт в обществе ситуацию идеологического, политического, религиозного плюрализма.

Эти изменения неизбежно ведут к изменению ценностей, а точнее, к размыванию старой системы ценностей и в некоторых случаях к подмене устоявшихся ценностных понятий инородным, западническим, содержанием. Так, провозглашаемое многообразие точек зрения привело к

подмене плюрализма противостоянием противоположных подходов, крайними выражениями которых стали лагерь западнического радикального крыла модернизаторов России и лагерь правонационалистических сил.

Западническое радикальное крыло России с удовлетворением констатирует, что произошло «крушение» России, и в её истории наступил «переломный период». Следовательно, Россия должна срочно изменить свой геополитический и цивилизационный облик, а для этого ей необходимо максимально быстро сбросить «груз прошлого», включая все «пагубные утопии», когда-либо создававшиеся в её истории. При этом муссируется тезис о «ненормальности» России, из которого выводится необходимость её «осовременивания». При этом под «осовремениванием» понимается прежде всего усвоение западных (американских) ценностей и стереотипов поведения. Так, политико-идеологическая пропаганда прозападной демократии провоцирует нарастание противостояния правонационалистических сил, программы которых направлены на решение противоположной задачи — поиск пути национального сохранения России и восстановления её духовно-нравственных ценностей, как основы объединения народов российского пространства.

Наиболее очевидно данное противостояние выражается в конфликте между актуализированной обстоятельствами необходимостью быстрого обновления культурного наследия и системы духовной регуляции, с одной стороны, и сохранением национальной идентичности, духовных ценностей, которые являлись основой, поддерживающей жизненно важные функции общества, — с другой. Данное противостояние постепенно переходит в открытую борьбу между западниками, ратующими за новую индустрию культуры и рыночные отношения, и сторонниками российской самобытности, отстаивающими гуманистическое достояние культуры России.

Обе позиции функционально значимы для полноценного развития общества. Поэтому их противостояние приводит к возникновению в общественном сознании ощущения утраты ценностей и, как следствие, изменению норм поведения. Общество дезориентировано, поскольку новые прозападные прагматичные ценности не могут не только возместить весь комплекс утрачиваемых ценностей, но и противоречат им, разрушая тем самым функциональные нормы и ценности, составляющие сущность цивилизационного достояния России.

«Я задумался, куда идёт Россия. Получилась схема трёх препятствий: сопротивление номенклатуры, сопротивление народных привычек, сопротивление национальных страстей. По моей тогдашней оценке, реформа может пробиться сквозь первое препятствие, завязнет в болоте народных привычек и потерпит крушение, когда вспыхнут национальные страсти. <…> Взрывные движения — не область точных предвидений. Легче предвидеть другое: упорство привычек, сложившихся в царстве Утопии. Самоизменение привычек идёт вкривь и вкось, из одного уродства в другое. <…>

Большинство политиков и журналистов чудовищно прямолинейно. Им хочется или «как в Америке», или как в «исконной России», идущей совершенно своим, неповторимым путём. Но в Европе все нации идут своим путём — перекликаясь друг с другом, учась на своих и чужих ошибках. И вместе отыскивая выход из тупика, в который вошла фаустовская цивилизация (ещё не замечая на уровне масс). Беда не в том, что мы усваиваем чужое. Это все делают <…>, а в том, что мы очень вяло усваиваем чужие добродетели и очень живо — чужие пороки» [1].

Медленно и с большим трудом проникает сначала в научную сферу, а затем в общественное сознание идея о специфичности процессов модернизации и их многообразии в зависимости от специфики цивилизационной среды, и формируется понимание, что данный процесс не может и не должен рассматриваться с позиции осуществления некой «образцовой» модели.

Состояние аномии и ценностной дезориентации приводит к перераспределению системы потребностей и выделению в ней новых ориентиров и приоритетов, ранее не свойственных народу России. Так, широкое внедрение рыночных отношений и частной собственности привело к ра-

дикальному изменению системы социализации: сужается сфера межличностных «социалистических» отношений и расширяется сфера товарно-денежных связей. На ценностном уровне это ведёт к распространению прагматических, предпринимательских ориентаций, которые поддерживаются реформаторскими кругами.

Эти изменения неотвратимо ведут к «подрыву» традиционных моральных норм и ценностей что провоцирует рост коррумпированности и криминализации общества. На уровне социальной стратификации усиливается классовое разделение на богатых, бедных и беднеющих, причём, в отличие от западных стран, в России при малочисленном среднем классе резко выражена диспропорция между состоятельными и малоимущими гражданами. Это не только и не столько экономическая проблема, но прежде всего нравственная, поскольку расслоение общества приобретает наследственный характер.

«Победа Ельцина в 1993 году, на первый взгляд, создала условия для установления соревновательного либо консенсусного демократическо-автократического режима. По факту же сложилась идеальная соревновательная олигархия. <…> Все 1990-е годы власть и нация были антагонистичны друг другу. По большому счёту, власть никто не считал «своей» — кроме довольно узкой прослойки политиков, высших чиновников и связанных с ними предпринимателей, интеллектуалов, деятелей культуры, а также бывших «демократов». Тогдашняя российская «демократия» совершенно не маскировала «олигархию», наоборот. Более того, многие олигархи, в частности крупные предприниматели-плутократы, вели себя предельно безответственно, настойчиво демонстрировали публике своё могущество, провоцируя сильнейшее раздражение. Попытки выстраивания политического режима на соревновательных началах по западным образцам (с многопартийностью, медиакратией и др.) в условиях не просто отсутствия традиций публичной политической конкуренции, а принципиальной несовместимости отечественной политической культуры и публичной соревновательности, как и следовало ожидать, только усугубили негативные последствия» [2, с. 153—154].

На фоне резкого изменения системы социального обеспечения — развитие платного здравоохранения и образования — растёт недовольство бедных и беднеющих слоёв. При этом бедные и беднеющие слои ощущают себя обманутыми жертвами, поскольку они не видят для себя шанса вырваться из того положения, в котором оказались, что усиливает дестабилизацию в обществе и снижает доверие к власти. К окончательной дестабилизации процесса модернизации приводит ставка власти на малочисленную, но экономически активную группу богатых, что выражается, в частности, в предоставлении им благоприятных стартовых возможностей. Увеличивается разрыв между социальными группами, центром и провинцией, возрастными группами населения. В большой степени это обусловливается тем, что «в действиях … предпринимателей часто просматривается откровенное пренебрежение к закону, морали и элементарным нормам поведения, что сводит на нет положительный заряд мотивации. <…> А в обществе имеется чёткое представление о том, что немногие ловкие дельцы присвоили то, что создавалось всем народом на протяжении нескольких поколений. Нравственная легитимность постсоветского предпринимательства весьма проблематична, и это не может не обострять его взаимоотношений с обществом» [3, с. 226—227].

О последствиях модернизации России. Итак, в постсоветский период форсированная вестернизация, обусловленная широким внедрением рыночных отношений и частной собственности, обеспечивалась в основном внедрением в сознание личностей утилитарных и потребительских ценностей и через них актуализировала низший слой потребностей — биологический. Это создало благоприятную почву для манипуляционного воздействия на сознание личности, цель которого — отвлечение личности от участия в общественной жизни и адекватной оценки действительности.

Таким образом, биосоциальные компоненты западного сознания, включённые в социальную систему регуляции России через механизмы воздействия институтов политической системы,

права и частной собственности, проникают в дезорганизованную общественную структуру и инициируют в ней возникновение ответной биосоциальной реакции. Это приводит к возникновению изменений в содержательном компоненте подтипов российского социального типа личности — как следствие, российский социальный тип личности трансформируется в сторону западного социального типа.

Исходя из сделанного выше анализа особенностей трансформационного процесса в России в первой трети XX — начале XXI века, можно сделать ряд заключений. Во-первых: данный этап в истории России распадается на два периода: советский и постсоветский. Во-вторых: разнонаправленность историко-культурологических и социально-политических изменений обусловливает неоднородность трансформационного процесса. В-третьих: каждое из направлений отличается по актуализированным потребностям, ценностям, виду деятельности и доминирующему фактору, влияющему на трансформацию общества. В-четвёртых: в советский период доминировал идеологический подтип российского социального типа личности, в постсоветский началась трансформация российского социального типа личности в сторону западного социального типа.

Итак, если отбросить благолепное умиление по поводу прекрасной модернизации и объективно взглянуть на те «прелести», которые получили на самом деле «лидеры», то картина предстанет малоутешительной: это и различного вида кризисы (экологический, экономический, социокультурный), и развал морально-этической системы, и ярко выраженное разделение на богатых и бедных.

Нет и не может быть в разнообразном мире единого стандарта «правильной» жизни. Если, например, некто стал бы утверждать, что на планете Земля должен быть только один вид цветов, его слова не приняли бы всерьёз, однако с идеей общего стандарта развития стран удивительно легко соглашаются. Почему? Ответ прост. Модернизация на самом деле нужна (и Россия не исключение) только 1 % населения, а именно тем, кто продвигает саму идею модернизации, чтобы лоббировать свои собственные интересы, а не интересы общества. Само же общество тихо, грустно посмеивается над этим процессом и думает о том, как бы перебраться в другие страны, в которых не вещают о модернизации, а заботятся о повышении качества жизни и неприкосновенности личных интересов. Например, недавно выдели 84 млрд руб. на разработку и внедрение национальной операционной системы на базе ОС «Линукс», которая на самом деле является открытой и бесплатной и разрабатывается специалистами всего мира. Однако госзаказ на создание русской операционной системы отдали дотоле не известной фирме, которая, не стесняясь, заявляет, что денег мало и что они потом попросят ещё. Самое интересное — им отвечают, что дадут. Такое ощущение, что в стране нет специалистов, которые обратили бы внимание на очевидное: национальная система будет разработана на базе ОС «Линукс», а это означает, что из неё будет взято 90 % наработок. А в оставшиеся 10 % «инноваций» можно вместить только изменение дизайна самой операционной системы и пару незначительных нововведений, что обойдёт не более чем в 100 тыс. руб. (имеется в виду разработка, а не внедрение). Грустно, не так ли? И это лишь один, причём не самый яркий пример. Если все подобные случаи собрать и завести по ним уголовные дела, то их общее количество будет неприлично большим. Однако вместо того, чтобы следить за подобными важными вещами, внимание общественности переносится на несчастного Ходорковского, войну в Ливии, судьбы незадачливых туристов в Египте и проч.

Заключение. Так что же принесла модернизация российскому обществу на самом деле? Потерю доверия к власти и властным структурам, что привело к формированию «синдрома недоверия», который подошёл к критической точке и готов превратиться в «синдром неверия». Это обусловлено тем, что последние сто лет при помощи различных ухищрений (революция, гражданская война, лагеря, реформы советского и постсоветского периодов) в России последовательно разрушалась национально-культурная идентичность. Ослабление общероссийской идентичности при-

вело к гипертрофированности самоидентификации на микроуровне (территория, семья, друзья). Следствием стало разрушение личностной психики, межличностных взаимоотношений, когда люди думают одно, говорят другое, делают третье. Таким образом, аксиологические основы российской ментальности: соборность, коллективизм, служение обществу, — вытесняясь, заменяются индивидуализмом, эгоизмом, превалированием материальных ценностей над духовными.

Таким образом, вопрос, вынесенный в название статьи, предстаёт риторическим, а ответ на него очевидным.

Библиографический список

1. Померанец, Г. С. Ещё одна жизнь / Г. С. Померанец // Знамя. — 1994. — № 2. — С. 158.
2. Иванов, В. В. К критике современной теории государства / В. В. Иванов. — Москва: Территория будущего, 2008.
3. Взаимодействие элит в социально-политическом процессе современной России / В. Г. Игнатов [и др.]. — Ростов-на-Дону: СКАГС, 2001.

Материал поступил в редакцию 20.02.2012.

References

1. Pomeranecz, G. S. Eshhyo odna zhizn` / G. S. Pomeranecz // Znamya. — 1994. — № 2. — S. 158. — In Russian.
2. Ivanov, V. V. K kritike sovremennoj teorii gosudarstva / V. V. Ivanov. — Moskva: Territoriya budushhego, 2008. — In Russian.
3. Vzaimodejstvie e`lit v social`no-politicheskom processe sovremennoj Rossii / V. G. Ignatov [i dr.]. — Rostov-na-Donu: SKAGS, 2001. — In Russian.

Is Russia in need of modernization?

G. I. Kolesnikova, E. G. Kurova
(Don State Technical University)

The problem of the modernization in Russia is considered in terms of the social and philosophic discourse.
Keywords: *ideology, personality, consciousness, modernization, society.*

УДК 316.346.32-053.9

Тенденции социальной трансформации пожилой семьи как адаптации к современным условиям в России

Л. И. Семенцова, Л. С. Николаева
(Новочеркасская государственная мелиоративная академия)

Рассматриваются проблемы социальной трансформации пожилой семьи в России как адаптации к современным переменам. Раскрываются трудности в решении проблем адаптации пожилой семьи, специфика и особенности пожилых супругов в условиях социальных изменений в России.
Ключевые слова: *социальная трансформация пожилой семьи, адаптация, пожилая семья, специфика и особенности адаптации пожилой семьи.*

Введение. В настоящее время в мире наблюдается тенденция старения населения, прежде всего — в развитых европейских странах, поэтому столь важно изучать группу пожилых людей, их положение, статус и социальные роли в современном обществе. В результате проведённых и проводимых реформ в контексте рыночной экономики ухудшилось положение населения в целом и пожилых людей и пожилых семей особенно — как наиболее слабо социально защищённой группы населения России. Это вызывает интерес к проблеме социальной адаптации пожилой семьи к современным условиям российского общества. Социальная адаптация пожилых семей включает комплекс действий самих пожилых людей, направленных на приспособление к новым условиям внешней среды и самим изменениям параметров стабильности семьи, внутренним её изменениям. Одним из направлений социальной адаптации является социальная реабилитация, представляющая систему мероприятий общества и государства, которые должны помогать пожилым семьям, пожилым людям облегчить их положение, способствовать облегчению их адаптации и достойной старости. В настоящее время в условиях современного российского общества социальная адаптация пожилых людей представляет их ресоциализацию, приспособление к изменениям в статусе, социальных ролях, взаимоотношениях, взаимодействиях, собственных оценках, самооценках и возможностях. Пожилые супруги, вступившие в «третий возраст», переходят в качественно новый этап своей жизни, и в этом плане большое значение имеет успех или неуспех адаптации в обществе. Изменение российского общества приводит к необходимости изменения и применения адаптационных стратегий, в первую очередь — деятельностных и коммуникативных, связанных с трудовой деятельностью, активностью, творчеством, семейной реадаптацией, в ходе которой возникают новые статусы и социальные роли.

Для успешной социальной адаптации важна семейная политика государства, направленная на улучшение положения семей и их адаптацию в обществе, создание благоприятных условий для жизнедеятельности пожилой семьи. Процесс адаптации и реабилитации предполагает и процесс мобилизации пожилой семьи, её потенциала и активности.

Тенденции социальной трансформации пожилой семьи как адаптации к современным условиям в России. Россия в ходе перемен пытается осуществить основные ценности демократического общества и на этом пути стремится заменить рациональное управление структурой, обеспечивающей гарантии устойчивого социального развития. Но, как отмечает Б. Б. Хубиев, «…движение в этом направлении часто наталкивается на элементы разрушающегося советского этапа российской цивилизации», [1] создавая впечатление кризиса цивилизационного развития.

На наш взгляд, кризисное состояние — не иллюзия и не кажимость, а действительность. А в семье в первую очередь отражаются основные трудности, достижения и противоречия жизни общества. «На семье в первую очередь отразился финансово-экономический кризис, который

наиболее сильно ударил по пожилой семье, как малообеспеченной. Как пишет А. В. Верещагина: «Современная семья в России, её смысл и функции претерпели существенное изменение, что позволяет говорить о том, что происходит трансформация семьи…» [2]. «Этот процесс сопровождается проявлением кризисных факторов в функционировании семьи, т. е. речь идёт о кризисе традиционной семьи в российском обществе, о кризисе её функциональной и ценностной структуры» [2]. О причинах, особенностях, последствиях кризиса современной семьи на примере США и России писала Т. А. Репина, которая стремится показать сходство эволюции семейных отношений на Западе и выделяет иные тенденции развития семейно-брачных отношений в странах с восточной моделью развития [3].

Трансформация семьи включает смену ценностной системы брачных отношений, а также изменения функциональной среды, поведенческих установок, социокультурной роли семьи в современной России, что сопровождается кризисными явлениями. Традиционному обществу соответствовала семейная организация, где развитие личностных аспектов ценностей семьи определялось доминированием её коллективностной сущности. Условия современного российского общества поставили под вопрос существование многих традиционных ценностей, усложнился внутренний облик человека, его поведение в семье, которое во многом стало ориентировано на внесемейные ценности.

Термин «трансформация» популярен в современной научной литературе, и прежде чем говорить о проблемах социальной адаптации в трансформирующемся российском обществе, необходимо уяснить значение этого термина. «Перемены в обществе 90-х годов вызвали необходимость применения трансформационного подхода как наиболее адекватного для понимания процессов, происходивших и происходящих в российском обществе», — отмечает В. А. Ядов [4]. В. В. Локосов [5, с. 15] обосновал этот термин с социологических позиций, определив его как «процесс существенного изменения социетальной системы, который характеризуется качественными изменениями системообразующих элементов, многовекторностью и относительно высоким темпом их реализации, а также повышенным влиянием субъективных факторов» [5, с. 41] Особенно это проявилось в деятельности такого социального института, как семья. Т. И. Заславская определяет социальный институт как целостный устойчивый комплекс формальных и неформальных «правил игры», т. е. принципов, норм, установок, способов контроля, поощрений и санкций, регулирующих системы ролей и статусов, образцы поведения и типы социальных практик в различных сферах человеческой деятельности, в том числе в пожилой семье» [5, с. 75]. Трансформационные процессы в России характеризуются резкими изменениями, адаптация к которым представляет собой период институциональных изменений в обществе на всех уровнях и во всех сферах. По мнению И. А. Батанова, трансформация — это «глубокое, качественное изменение отчётливо выраженной созидательной или деградационной направленности, вызывающее в объекте трансформации морфологические, структурные, функциональные и другие изменения принципиального, коренного, сущностного характера, и при этом трансформация отличается от развития, эволюции и других терминов, характеризующих процесс изменений тем, что при трансформации эти изменения носят отчётливо качественный, неаддитивный, комплексный, в большинстве случаев необратимый характер и они приводят принципиально к новому пониманию рассматриваемых процессов» [5].

В нашем исследовании пожилой семьи особенно важно влияние субъективных факторов в процессе трансформации, и мы в этом вопросе согласны с В. В. Локосовым, так как и стратегически, и тактически трансформация очень сильно зависит от индивидуальных, групповых интересов, и поэтому ею можно управлять. Если модернизация — это неоднородный и множественный процесс, не всегда являющийся антиподом традиции [6], то взаимодействие традиций и инноваций наиболее чётко проявляется в эпоху трансформации общества. В основе этого лежит диалек-

тический процесс развития, как отмечает М. Н. Руткевич [7]. Действительно, трансформация института семьи демонстрирует диалектический характер его развития, т. к., с одной стороны, институт семьи выступает оплотом стабильности, а с другой — показывает потребности, ценности, образцы поведения нового общества, такие, как стремление к свободе, индивидуализации, раскрепощению, иному самовыражению.

Противоречивость потребностей на микроуровне показывает изменения на макроуровне в виде разрушения традиций семьи, которые институт семьи призван сохранять, а с другой стороны, в рамках института семьи происходит интенсивное изменение её основ. Поэтому В. В. Локосов выделяет системный характер процессов трансформации, т. е. качественное изменение системообразующих элементов, что отличает её от реформ, реорганизации, перестройки, реконструкции; отсутствие поступательных положительных изменений, что отличает трансформацию от развития, прогресса, революции, модернизации, когда позитивный вектор перемен как бы задан. Темп изменений при трансформации достаточно разнонаправленный, что отличает трансформацию от быстрых революционных изменений и медленных эволюционных изменений [8].

В нашем исследовании важен и социокультурный подход, так как его применение эффективно при анализе трансформации норм, ценностей, образцов поведения, регулирующих семейно-брачную сферу в контексте социокультурной трансформации в целом российского общества. В этом плане интересны исследования А. Л. Андреева, А. В. Бондар, И. И. Глебова, С. В. Патрушева, А. Д. Хлопина и других исследователей [9]. Основой теории социокультурного изменения является тезис о том, что социокультурная система не может не изменяться, даже если все внешние условия неизменны. П. А. Сорокин пишет следующее: «…Изучая трансформацию социокультурной системы, сторонник имманентной теории будет искать причины или факторы её изменения прежде всего во внутренних свойствах (актуальных или потенциальных) системы, а не просто во внешних условиях её существования», поэтому «если предложить, что внешние условия существования семьи, государства, экономической организации, политической партии или любой социальной системы остаются постоянными, то каждая из этих социальных или культурных систем не остаётся неизменной, но имманентно обречена меняться в силу собственного бытия и функционирования [10]. В нашем исследовании мы обращаемся не только к внешним изменениям под влиянием социокультурной динамики развития систем и институтов общества, но обращаемся и к внутренним параметрам стабильности пожилой семьи; проблемам такой семьи; формам, методам, направлениям социальной адаптации семьи к современным условиям трансформирующегося общества, в котором появляется семья трансформационного типа.

Мы солидарны с А. В. Верещагиной, которая указывает: «В эпоху социальных трансформаций, когда формальные ограничения не соответствуют реальным практикам, реализуемым в семейно-брачной сфере, а семья, оказывается, представлена самой себе в поле глобальных трансформаций и нерегулируемых социальных практик, в том числе семейных, происходит сочетание неформальных и индивидуальных ограничений семейного поведения, что формирует трансформационный тип семьи и семейного поведения в обществе, в котором нет доминирующего типа семейного поведения» [11]. Таким образом, в период трансформации общества происходит сочетание традиционной и современной семьи, образуется промежуточный тип семьи, который зависит от многих факторов позиции традиционной и современной семьи в обществе; степень влияния внешних сил, агентов трансформации семейного поведения на данный процесс, направленность и эффективность государственной политики как на федеральном, так и на региональном уровнях в отношении семьи в плане формирования программ семейно-демографического развития страны и поддержки семьи; деятельность различных общественно-политических сил, индивидуальные субъективные практики семьи и др. Пожилая семья — это в основном традиционная семья — «это совокупность социальных ограничений в виде формальных и неформальных ограничений,

норм, правил, регулирующих семейное поведение индивидов. Если данный конкретный тип семьи укладывается в общественные рамки представлений о семье и не противоречит сложившимся в них традициям, она является традиционной». А. В. Верещагина, таким образом, рассматривает семью, отталкиваясь от неоинституционального подхода. Она же считает, что современная семья не соответствует традиционным нормам и правилам семейного поведения и отношений, т. к. семейное поведение индивидов реализуется в основном индивидуальными нормами и правилами семейного поведения, не институционализированными на уровне общественного сознания».

Новые экономические отношения, ориентированные на собственность индивида, коренным образом изменили функции семьи как хозяйственно-экономической единицы общества, а также роль и место индивида в семейном союзе. Среди основных изменений можно назвать личную свободу, индивидуальное саморазвитие и самореализацию, развитие индивидуально-ценностных оснований как новое качественное содержание российской семьи. Исполняемые семейные роли в их индивидуальной интерпретации несут отпечаток нашего времени, и, по оценкам Л. В. Карцевой, «в них доминирует личное над семейным, а семейное над социальным» [12]. По исследованиям Ф. А. Мустаевой о семье в условиях финансово-экономического кризиса, приведём исследование, проведённое в 2009 году, характеризующее кризисное положение семьи в г. Магнитогорске, в средних и малых городах. В исследовании (1100 респондентов) приняли участие 50,2 % женщин и 49,8 % мужчин: 48,7 % респондентов заняты на предприятиях, 16,6 % являются служащими, 13,8 % работают по найму в частном бизнесе, 4,5 % пенсионеры, 4 % студенты, 3,9 % домохозяйки, 3,7 % безработные, 3,4 % предприниматели [13].

Таблица 1

Материальное положение семьи в результате финансово-экономического кризиса [14]

Варианты ответов	г. Магнитогорск (крупный город)	Другие города (средние и малые)	Сельские поселения
Стали жить хуже	56,2	53,3	43,5
Ничего не изменилось	26,6	30,3	40,5
Затруднились ответить	15,8	14,8	15,5
Стали жить лучше	1,4	1,8	-

Таблица 2

Сравнительный анализ причин, беспокоящих современные семьи (в % от числа опрошенных) [15]

Варианты ответов	Конец 2007 — начало 2008 г.	Март — апрель 2009 г.
Высокие цены на продукты, товары, услуги	59,3	66,2
Низкие заработки, неблагополучное материальное положение семьи	53,1	52
Постоянный рост тарифов на коммунальные и транспортные услуги	50,1	53,2
Ощущение незащищённости, безразличие со стороны государства, общества	34,4	18,8
Состояние здоровья и отсутствие возможностей для хорошего лечения	16	7,2
Плохие жилищно-бытовые условия	37,2	37
Ограниченные возможности дать детям хорошее образование	15,2	12,4
Проблемы в воспитании детей	15	11
Проблемы на работе	11,5	20
Отношения в семье	9,5	8,6
Другие проблемы	1,2	3,2

Приведённые данные показывают, что российская семья находится в финансово-экономическом кризисе. Особенно больно кризис, безусловно, ударил по пожилой семье и малообеспеченным семьям в целом. Как отмечает С. В. Дармодехин [16], семья должна обеспечивать психологическую, экономическую и физическую безопасность, она выступает посредником между человеком и остальным миром, что в условиях кризиса наиболее актуально для пожилой семьи. Такое посредничество является важнейшей социальной функцией пожилой семьи в деле сохранения традиций, устоев, исторической преемственности поколений, развития личности и общества, гармонизации их взаимоотношений, создания органичной системы, в которой личность — не только часть общества, но и в центре внимания общества, которое должно существовать ради человека. Именно пожилая семья реализует такие важные и социально значимые качества и ценности, как забота, поддержка, любовь, привязанность, уважение, солидарность, то есть то, без чего невозможна социализация личности.

Такие исследователи, как И. М. Корняк, А. М. Панов, Б. В. Ракитский, Е. Н. Феоктистова, Е. Н. Дудченко [17] и другие указывают, что семья является своего рода стимулятором общественного развития, трансформации общества в направлении определённых значимых социальных качеств и ценностей. Это, прежде всего, относится к проблеме трансформации пожилой семьи, так как социальная трансформация *семьи — это, в первую очередь, её адаптация к социальным переменам в процессе её исторического развития.* Для пожилой семьи трансформация наиболее болезненна, т. к. социальные перемены в России непредсказуемы, непоследовательны, противоречивы. Пожилая семья же, как первичная социальная ниша, выступает как некий социальный стабилизатор, являясь по своей природе традиционной и отчасти даже консервативной социальной структурой. Пожилая семья оказывает стабилизирующее влияние на всё общество в целом, так как она содержит в себе большой историко-культурный потенциал, включающий огромный опыт разрешения социальных противоречий. Этот опыт пожилой семьи впитал в себя нравы, традиции, мораль, социокультурные достижения всего человечества, он не подвергается конъюнктурным социальным девальвациям и мгновенным изменениям.

Но трансформация, информатизация, урбанизация и иные закономерные сдвиги не могли не сказаться на семье. Это выражается в изменении функций семьи, внутрисемейной дифференциации, эмансипации женщин и отразилось на установлении новых форм внутрисемейной и внесемейной деятельности, а также в формировании новых ценностей, на изменении статуса семьи. Эта трансформация характеризуется переходом от патриархальной традиционной семьи к такой семье, которую можно назвать современной (центроориентированной на общество).

Многодетная семья уступила место малодетной, в которой развиваются отношения равноправного сотрудничества всех членов семьи. Возникают новые социальные нормы, которые основаны на формах внутрисемейного взаимодействия, межличностной коммуникации, социальной значимости и ответственности в связи с новыми вызовами времени.

Формируется иная структура семьи, т. к. её нуклеаризация приводит к ослаблению значения родственных связей. Но с этим можно согласиться с оговорками. Семья как традиционная структура является социальным стабилизатором, а пожилая семья в иерархии семейных ценностей занимает высокое место за счёт укрепления социальных связей, большой зависимости детей, внуков в условиях кризиса от материального достатка пожилой семьи.

Изменяется роль внешних по отношению к пожилой семье регуляторов внутрисемейного поведения. Хотя меняются традиционные нормы и ценности, которые исторически делают семью социальным стабилизатором, новые ценностные установки и нормы вырабатывают свои собственные специфические способы стабилизации. Это происходит и в пожилой семье. На наш взгляд, ответом на общество риска, формирующееся в России, глубинные процессы впервые в историко-культурной перспективе привели к возможности формирования «в лице» пожилой семьи к такой

ценности, которая органична по своей природе. Это своеобразная система согласования целого с его частями и частей с целостностью. Молодое поколение обращается в условиях неопределённости и риска к традиционным, общечеловеческим ценностям, и поэтому ценности пожилой семьи как носительницы социокультурного опыта и социального стабилизатора возрастают в современном российском обществе, на наш взгляд.

Другой тенденцией является процесс эгалитаризации внутрисемейных отношений. Это осуществляется в переходе от жёсткой, авторитарной, регламентированной структуры семьи к отношениям нового типа, основанным на равноправии, внутрисемейном плюрализме, демократии как основной форме социальной стабилизации семьи и фактора её социальной динамики. Традиционное разделение труда между мужчиной и женщиной заменяется функциональными, социально значимыми и прагматическими характеристиками.

Изменения происходят и в системе ролевых отношений в пожилой семье. Осуществляется переход от традиционного ролевого участия, обусловленного исторически сложившимся разделением труда и уничижением женщины в семейных и внесемейных социальных ролях, к взаимодополняемости супругов, а также переход к такой форме внутрисемейной организации, как взаимозаменяемость пожилых супругов. Это означает новое ролевое участие супругов в жизни семьи.

Заключение. Пожилые семьи, используя активные адаптационные стратегии, а также копинг стратегии (активное поведение по преодолению неблагоприятных обстоятельств), находят своё место в жизни и в обществе, адаптируясь к новым социально-экономическим условиям России. Но массовой социальной адаптации пожилых семей, успешно прошедшей в современном рыночном обществе, не наблюдается, т. к. возникают трудности и проблемы в использовании активных адаптационных стратегий жизни и деятельности пожилых семей. Пожилые супруги не отказываются от прежней системы ценностей и норм, они опираются на общечеловеческие и традиционные ценностные ориентации. Это выступает формой специфической социальной адаптации к новым социально-экономическим условиям. Пожилые супруги в непростой экономической ситуации проявляют сплочённость, стараются преодолеть возникшие трудности, сохраняют отношения уважения, любви, дружбы, симпатии друг к другу, что также способствует их социальной адаптации в изменяющемся социуме. Помощь детям и внукам в материальном, хозяйственно-бытовом, воспитательном и психологическом плане усиливает социальную адаптацию пожилых супругов и является социопсихологической основой взаимоотношений пожилых родителей, детей и внуков, укрепляя деятельностную и коммуникативную социальную адаптацию пожилых семей к новым статусам и условиям.

Библиографический список

1. Андреев, А. Л. Ценностные и мировоззренческие аспекты социального неравенства / А. Л. Андреев // СоцИс. — 2007. — № 9.

2. Бондар, А. В. Социокультурный раскол и развитие российской государственности / А. В. Бондар // Власть. — 2009. — № 3.

3. Глебова, И. И. Политические культуры современной России: облики новой русской власти и социальные расколы / И. И. Глебова // Политические исследования. — 2006. — № 1.

4. Батанова, А. Основы теории социально-экономических трансформаций / А. Батанова. — Санкт-Петербург, 2000. — С. 38.

5. Верещагина, А. В. Трансформация института семьи и демографические процессы в современной России: монография / А. В. Верещагина. — Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2009. — 264 с.

6. Дармодехин, С. В. Государственная семейная политика в России: история и современность / С. В. Дармодехин // Всероссийский центр уровня жизни. Мониторинг социально-экономического потенциала семьи. — 2001. — № 2. — С. 20.

7. Заславская, Т. И. Современное российское общество: социальный механизм трансформации / Т. И. Заславская. — Москва: Дело, 2004. — С. 102—103.

8. Карцева, Л. В. Семья в России на рубеже двух веков / Л. В. Карцева. — Казань, 2001. — С. 206.

9. Локосов, В. В. Трансформация российского общества (социологические аспекты) / В. В. Локосов. — Москва: РИЦ ИСПИ РАН, 2002. — С. 41.

10. Мустаева, Ф. А. Семья в условиях финансово-экономического кризиса / Ф. А. Мустаева // СоцИс. — 2010. — № 7. — С. 66.

11. Патрушев, С. В. Социокультурный раскол и проблемы политической трансформации России / С. В. Патрушев, А. Д. Хлопин // Россия реформирующаяся. Ежегодник. — Вып. 6. — Москва: ИС РАН [и др.], 2007.

12. Репина, Т. А. Кризис современной семьи: причины, особенности, последствия / Т. А. Репина // Вестник ТГУ. — 2008. — Вып. 6 (62). — С. 315—316.

13. Руткевич, М. Н. Общество как система. Социологические очерки / М. Н. Руткевич. — Санкт-Петербург, 2001. — С. 15.

14. Сорокин, П. А. Социальная и культурная динамика / П. А. Сорокин. — Москва: Астрель, 2006. — С. 798—802.

15. Традиции и инновации в современной России. Социологический анализ взаимодействия и динамики / под ред. А. Б. Гофмана. — Москва: РОССПЭН, 2008. — С. 15.

16. Хубиев, Б. Б. Семья в постиндустриальном обществе: российская особенность / Б. Б. Хубиев // Социальные процессы и социальные отношения в современной России: тез. выступлений IV Междунар. социального конгресса, 25—26 нояб. 2004 г. В 2-х т. Т. 1 / под ред. Г. И. Осадчей. — Москва: Изд-во РГСУ, 2004. — С. 192.

17. Ядов, В. А. А всё же умом Россию понять можно / В. А. Ядов // Россия: трансформирующееся общество. — Москва, 2001. — С. 12.

Материал поступил в редакцию 8.02.2012.

References

1. Andreev, A. L. Cennostny`e i mirovozzrencheskie aspekty` social`nogo neravenstva / A. L. Andreev // SocIs. — 2007. — № 9. — In Russian.

2. Bondar, A. V. Sociokul`turny`j raskol i razvitie rossijskoj gosudarstvennosti / A. V. Bondar // Vlast`. — 2009. — № 3. — In Russian.

3. Glebova, I. I. Politicheskie kul`tury` sovremennoj Rossii: obliki novoj russkoj vlasti i social`ny`e raskoly` / I. I. Glebova // Politicheskie issledovaniya. — 2006. — № 1. — In Russian.

4. Batanova, A. Osnovy` teorii social`no-e`konomicheskix transformacij / A. Batanova. — Sankt-Peterburg, 2000. — S. 38. — In Russian.

5. Vereshhagina, A. V. Transformaciya instituta sem`i i demograficheskie processy` v sovremennoj Rossii: monografiya / A. V. Vereshhagina. — Rostov-na-Donu: Izd-vo YuFU, 2009. — 264 s. — In Russian.

6. Darmodexin, S. V. Gosudarstvennaya semejnaya politika v Rossii: istoriya i sovremennost` / S. V. Darmodexin // Vserossijskij centr urovnya zhizni. Monitoring social`no-e`konomicheskogo potenciala sem`i. — 2001. — № 2. — S. 20. — In Russian.

7. Zaslavskaya, T. I. Sovremennoe rossijskoe obshhestvo: social`ny`j mexanizm transformacii / T. I. Zaslavskaya. — Moskva: Delo, 2004. — S. 102—103. — In Russian.

8. Karceva, L. V. Sem`ya v Rossii na rubezhe dvux vekov / L. V. Karceva. — Kazan`, 2001. — S. 206. — In Russian.

9. Lokosov, V. V. Transformaciya rossijskogo obshhestva (sociologicheskie aspekty`) / V. V. Lokosov. — Moskva: RICz ISPI RAN, 2002. — S. 41. — In Russian.

10. Mustaeva, F. A. Sem`ya v usloviyax finansovo-e`konomicheskogo krizisa / F. A. Mustaeva // SocIs. — 2010. — № 7. — S. 66. — In Russian.

11. Patrushev, S. V. Sociokul`turny`j raskol i problemy` politicheskoj transformacii Rossii / S. V. Patrushev, A. D. Xlopin // Rossiya reformiruyushhayasya. Ezhegodnik. — Vy`p. 6. — Moskva: IS RAN [i dr.], 2007. — In Russian.

12. Repina, T. A. Krizis sovremennoj sem`i: prichiny`, osobennosti, posledstviya / T. A. Repina // Vestnik TGU. — 2008. — Vy`p. 6 (62). — S. 315—316. — In Russian.

13. Rutkevich, M. N. Obshhestvo kak sistema. Sociologicheskie ocherki / M. N. Rutkevich. — Sankt-Peterburg, 2001. — S. 15. — In Russian.

14. Sorokin, P. A. Social`naya i kul`turnaya dinamika / P. A. Sorokin. — Moskva: Astrel`, 2006. — S. 798—802. — In Russian.

15. Tradicii i innovacii v sovremennoj Rossii. Sociologicheskij analiz vzaimodejstviya i dinamiki / pod red. A. B. Gofmana. — Moskva: ROSSPE`N, 2008. — S. 15. — In Russian.

16. Xubiev, B. B. Sem`ya v postindustrial`nom obshhestve: rossijskaya osobennost` / B. B. Xubiev // Social`ny`e processy` i social`ny`e otnosheniya v sovremennoj Rossii: tez. vy`stuplenij IV Mezhdunar. social`nogo kongressa, 25—26 noyab. 2004 g. V 2-x t. T. 1 / pod red. G. I. Osadchej. — Moskva: Izd-vo RGSU, 2004. — S. 192. — In Russian.

17. Yadov, V. A. A vsyo zhe umom Rossiyu ponyat` mozhno / V. A. Yadov // Rossiya: transformiruyushheesya obshhestvo. — Moskva, 2001. — S. 12. — In Russian.

TRENDS OF ELDERLY FAMILY SOCIAL TRANSFORMATION AS ADAPTATION TO CURRENT CONDITIONS IN RUSSIA

L. I. Sementsova, L. S. Nikolayeva
(Novocherkassk State Reclamation Academy)

The problems of the elderly family social transformation in Russia as the adaptation to the current changes are considered. Difficulties in solving the adaptation problems of an elderly family, the specificity and features of an elderly couple under the social changes in Russia are revealed.
Keywords: *social transformation of elderly family, adaptation, elderly family, specificity and features of transformation of elderly family.*

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 005.591.6

Основные черты современной системы управления развитием промышленных предприятий

К. А. Бармута
(Донской государственный технический университет)

Организация и совершенствование управления эффективным развитием промышленных предприятий как сложными социально-экономическими системами — одна из ключевых проблем стабилизации российской экономики. Атрибутом управления в общественном производстве является целенаправленность управления и производственных процессов. На основании обобщения результатов теоретических исследований и практики выделены характерные черты существующей и новой системы управления, присущие отечественным предприятиям и адекватные условиям новой экономики.
Ключевые слова: *управление предприятием, модели управления, управленческая парадигма.*

Введение. Развитие промышленности, как известно, тесно связано с научно-техническим прогрессом и внедрением его результатов в производство. Реализация этой установки невозможна без совершенствования системы управления на базе инновационного характера его развития.

Вхождение в эпоху «экономики знаний», где основными источниками благосостояния и ведущими факторами производства становятся инновации и творческие (интеллектуальные) достижения людей, обусловило выживание в современных условиях только тех предприятий, которые гибко реагируют на требования рынка, создают и грамотно организовывают производство конкурентоспособной продукции, обеспечивают эффективность перестройки внутрипроизводственного управления, то есть развиваются.

Несомненно, развитие должно быть управляемым, т. е. в большей степени регулироваться направленным управленческим воздействием. Рыночные колебания и тесно связанная с ними деятельность хозяйствующего субъекта могут привести к замедлению развития, а также к процессам стагнации и даже разрушению организации. Управленческое воздействие призвано сгладить возможные негативные последствия таких колебаний.

Проблемы управления современными промышленными предприятиями. Анализ содержания существующих теорий развития организации приводит к выводу, что они являются взаимодополняющими, поскольку акцентируются на отдельных аспектах деятельности: неоклассическая — на производственном процессе, институциональная — на формальных и неформальных взаимодействиях между людьми и организациями, эволюционная — на причинах изменений, предпринимательская — на инновациях. Таким образом, управление развитием предприятия должно опираться на интегрированные подходы.

Главная отличительная черта российских предприятий состоит в том, что они действуют в постоянно меняющихся экономических условиях. Фактически руководство предприятий стоит перед проблемой управления в условиях неопределённости [1].

Предприятие обладает рядом особенностей, присущих экономическим производственным системам:

– большая сложность, обусловленная наличием множественных сильных материальных и информационных связей между элементами;

– непрерывное, динамичное и неповторяющееся развитие;

– непрерывное воздействие природных факторов и общества, причём эти воздействия в значительной своей части имеют стохастический характер, что предопределяет необходимость функционировать и принимать решения в условиях неопределённости.

Поэтому система управления предприятием должна отвечать современным рыночным условиям, а именно:

– обладать высокой гибкостью с позиций организации производства, позволяющей своевременно реагировать на требования рынка выпускаемой продукции. Это обусловлено тем, что жизненный цикл продукции становится короче, а разнообразие изделий — больше;

– быть адекватной сложной технологии производства, требующей совершенно новых форм контроля, организации и разделения труда;

– учитывать серьёзную конкуренцию на рынке товаров (услуг), в корне изменившую отношение к качеству продукции, потребовавшую организовать послепродажное обслуживание и дополнительные фирменные услуги;

– учитывать требования к уровню качества обслуживания потребителей и времени выполнения договоров, которые стали слишком высокими для традиционных производственных систем и механизмов принятия управленческих решений;

– учитывать изменение структуры издержек производства;

– принимать во внимание необходимость учёта неопределённости внешней среды.

Это далеко не полный перечень проблем, с которыми приходится сталкиваться предприятиям. Для их решения существует объективная необходимость в исследованиях, анализе существующего положения.

В нынешних условиях эффективно управлять предприятием означает, прежде всего, определить направления деятельности предприятия, разработать его стратегию и цели, правильно спланировать виды и объёмы производимой продукции, организовать сбытовую деятельность с учётом потребительского спроса и, кроме того, с максимальной эффективностью адаптировать организационную структуру предприятия к изменяющимся условиям его функционирования для достижения поставленных целей [2].

Принятие решений в рамках указанных направлений должно осуществляться на основе принципа экономической эффективности, то есть в основу должно быть положено стремление получить наибольшие экономические результаты с минимально возможными затратами всех необходимых для этого ресурсов.

В эпоху «экономики знаний» инновации становятся основным фактором повышения эффективности работы промышленных предприятий, что делает невозможным использование старых управленческих подходов. Промышленное предприятие может считаться инновационно-активным и перспективно развиваться, если тенденции такого развития обусловлены комплексным внедрением всех видов инноваций: продуктовых и процессных. При этом нарастание сложности управления в своём развитии должно опережать развитие производства, только тогда оно может быть эффективным.

Экономическое положение отдельного предприятия в целом определяют три основных фактора: уровень техники и технологии; качество рабочей силы и широкое использование мотивации к труду; управление (менеджмент). Третий из перечисленных факторов имеет системообразующий характер. Как показывают специальные исследования, состояние управления влияет и на уровень техники и технологии, и на качество рабочей силы. Современное управление — особая сфера экономических отношений, имеющая собственную логику развития. Это самостоятельный вид профессиональной деятельности, направленный на достижение в ходе любой хозяйственной деятельности предприятия, действующего в рыночных условиях, определённых намечен-

ных целей путём рационального использования материальных и трудовых ресурсов с применением принципов, функций и методов управления.

Развитие науки управления. Практика управления пережила достаточно длительную и глубокую эволюцию. На ранних стадиях капиталистического производства предприниматель-собственник, как правило, сам управлял предприятием, руководствуясь опытом и чутьём. Но развитие производства на рубеже XIX—XX веков по-новому поставило вопрос об управлении. Развитие техники и новые технологии, рост масштабов производства резко усложнили управление, выделили его в особую сферу деятельности, требующую специальных знаний. Необходимость решения проблем привела к активному обобщению опыта, к поискам эффективных методов управления производством и трудом.

Возникла наука управления. Технический прогресс, развитие производства, иные социально-экономические и политические условия ставили перед теорией и практикой управления всё новые проблемы. Специалисты в области менеджмента на каждом этапе находили решения этих проблем. Эволюция теории и практики менеджмента нашла своё отражение в многообразных проявлениях. На первый план выдвигались то одни, то другие проблемы. В 50—60-е годы в центре внимания стояла организационная структура управления. В 60—70-е возникает стратегическое планирование. 80-е годы ознаменованы переходом передовых западных предприятий от стратегического планирования к стратегическому управлению.

В ходе эволюции в рамках науки управления выделились различные направления, произошло её слияние с другими, близкими к ней науками. Рубежным в развитии управления стало объединение теории управления и теории маркетинга, породившее рыночную концепцию управления. Основные исходные посылки новой концепции сводятся к следующим:

– ставка делается на человека самореализующегося (в отличие от человека экономического и человека социального);

– предприятие рассматривается как живой организм, состоящий из людей, объединяемых совместными ценностями, как «клан»;

– предприятию должно быть присуще постоянное обновление, питающееся внутренним стремлением и нацеленное на приспособление к внешним факторам, главным из которых является потребитель.

Новая парадигма управления основана на системном, ситуационном подходе. Предприятие — «открытая система». Главные предпосылки её успеха лежат не только внутри, но и вне её. Успех связывается с тем, насколько удачно фирма вписывается во внешнюю среду (экономическую, научно-техническую, социально-политическую) и приспосабливается к ней. То есть главный критерий эффективности системы управления состоит в следующем: сумеет ли предприятие вовремя распознать угрозы для своей деятельности, будет ли оно устойчиво к изменениям рынка, не упустит ли возможности, возникающие во внешней среде, сможет ли извлечь максимальную выгоду для себя из данных возможностей.

Характерные черты новой управленческой парадигмы. В начале периода перестройки внешняя среда оказывала довольно устойчивое воздействие на отечественные предприятия, а они, в свою очередь, выбирали в качестве приоритетов в управлении внутренние переменные, стратегию внутри организационного совершенствования. В настоящее время внешняя среда стала более подвижной, быстро меняющейся. В такой ситуации приоритеты следует отдавать системе управления, основанной на гибких решениях в условиях неопределённости информации.

Однако функционирование предприятия в условиях рынка — это не просто отклик на внешние воздействия, а подвижное внутреннее равновесие, достичь которое можно лишь в результате приспособления к неопределённым внешним воздействиям за счёт обмена информацией с внешней средой. Для этого необходимо проводить анализ внешних факторов, а также того, на-

сколько поднимается эффективность производства при совершенствовании его элементов с учётом информации по изменению влияния внешних факторов.

Воплощением нового подхода стало стратегическое управление, которое предполагает дополнение планирования потенциала предприятия планированием его стратегии на основе будущего состояния среды. Изменение ситуации вызывает изменение возможностей и стратегии. Предусматриваются специальные меры для уменьшения сопротивления переменам. Новая концепция управления требует новых установок персоналу, новой управленческой культуры (стремления к радикальным переменам, готовности к риску и т. п.). Специалисты справедливо считают, что не существует единой, идеальной модели управления, поскольку каждое предприятие уникально. Оно должно искать свою собственную модель. Среди факторов, которые определяют выбор управленческой модели, можно выделить следующие: размер предприятия; характер продукции; характер среды, в которой оно действует.

С точки зрения характера среды, в которой действует предприятие, выделяют следующие модели управления [3]:

– модель рационального внутрифирменного управления в спокойной внешней среде;

– модель управления в условиях достаточно динамичного и разнообразного рынка;

– модель управления в условиях динамичного научно-технического прогресса;

– модель приспособления к спонтанно возникающим под воздействием внешней среды предприятия проблемам.

Предприятия находятся в процессе постоянного поиска своей модели управления. Это непрерывный процесс, ибо меняется само предприятие и его среда. Поэтому для того, чтобы организация управления соответствовала потребностям предприятия, она должна развиваться вместе с предприятием и его внешней средой. Например, большинство американских компаний осуществляют отдельные организационные изменения не реже раза в год, а крупные реорганизации проводят каждые 4—5 лет.

Общее направление эволюции — переход от модели управления в условиях массового производства и относительно низкого уровня конкуренции к модели управления в условиях в значительной степени индивидуального производства и обострившейся конкуренции [4].

Современная система управления развитием предприятия должна быть простой и гибкой. Её главным критерием является обеспечение эффективности и конкурентоспособности деятельности предприятия.

Теория управления рассматривает предприятие как множество связанных между собой и определённым образом упорядоченных компонентов, которые обладают целостностью и образуют единство с внешней средой. Ключевым моментом предприятия является его структура, то есть сравнительно устойчивые связи, существующие между элементами предприятия, конструкция предприятия, на основе которой управляется предприятие. Данная конструкция включает каналы власти и коммуникации между различными подразделениями, а также информацию, которая течёт по этим каналам.

Обеспечение эффективности управленческого процесса в значительной степени определяется рациональным распределением полномочий в принятии решений между различными уровнями управления, то есть соотношением централизации и децентрализации в управлении. Оптимальное соотношение централизации и децентрализации обеспечивает оперативность и реалистичность управленческих решений. Последние должны приниматься быстро и вблизи источника информации, которую необходимо всесторонне осмыслить. Организационные структуры управления должны обеспечивать манёвренность производства, необходимость которой может быть обусловлена изменением уровня спроса или действиями конкурентов: снижением цен, падением доли фирмы на рынке, непредвиденным успехом нового вида продукции.

Организационные принципы построения предприятия определяются его целями и стратегией. Как только определены цели, вырабатываются руководящие направления действий, то есть политика предприятия. Основная её задача состоит в чётком определении стратегических концепций, с помощью которых принимаются решения, соответствующие краткосрочным и долгосрочным целям предприятия. Достижение целей предприятия зависит от трёх главных факторов: выбранной стратегии, организационной структуры и от того, каким образом эта структура функционирует. Задача предприятия состоит в достижении целей, для решения которых оно было создано.

Однако под влиянием быстрого изменения внешней среды характер целей и способы их достижения могут меняться. Поэтому система управления должна быть гибкой. Для этого предприятию необходимо располагать информацией о внутреннем состоянии дел и конкурентах, чётко и быстро решать различные вопросы. Быстрая реакция на изменение внутренних и внешних условий обеспечивается передачей права принятия решений на месте, где совершаются действия.

Гибкость необходима и в вопросах стратегии. В случаях устаревания продукции, изменения технологий, изменения социальных и правовых ограничений предприятие должно быстро и чётко реагировать — совершенствовать номенклатуру, менять рынки и т. д. В этой связи на первый план выходит такая функция управления, как планирование (текущее, стратегическое), целью которого выступает устранение отрицательного эффекта неопределённости и изменчивости среды функционирования предприятия, сосредоточение внимания на главных задачах, достижение экономичного функционирования и облегчение контроля.

Современные предприятия представляют собой сложные социально-экономические и производственно-технические системы, функционирующие в стремительно меняющейся окружающей среде, которая является постоянным источником новых возможностей и угроз, создающих сложную, неоднородную и трудно предсказуемую обстановку. Именно в таких условиях перестают работать устоявшиеся, прекрасно зарекомендовавшие себя в прошлом правила, методы и технологии, и возникает необходимость поиска новых подходов и теорий.

В связи с этим управление эффективным развитием предприятия было и остаётся насущной проблемой развития экономики страны. Мировой экономический кризис, резкий спад промышленного производства привёл множество предприятий к кризисному состоянию и банкротству, а разработать комплексную и эффективную методологию управления такими предприятиями до сих пор не удалось. В этих условиях многие предприятия оказались неспособными чётко определить основные цели, приоритеты деятельности, сформулировать функциональные задачи. Формируемые и реализуемые маркетинговая, конкурентная и производственная стратегии на многих предприятиях не охватывают всех проблем, которые им необходимо разрешить.

Таким образом, организация и совершенствование управления эффективным развитием предприятия как сложной социально-экономической системы является одной из ключевых проблем стабилизации российской экономики.

Управление современным предприятием сегодня одна из наиболее сложных задач менеджеров различных звеньев. Традиционная экономика отступает под натиском новой, которая предъявляет новые требования к предприятиям: меняются отношения между предприятиями, организационные структуры самих предприятий и стандарты управления ими. Новая экономика требует новых знаний и новых людей, способных эти знания генерировать и использовать.

В условиях новой экономики расширяется и состав традиционных факторов производства (труда, земли и капитала) за счёт включения информации и знаний. Знания, творческий труд начинают играть существенную роль в социально-экономическом развитии. Задача, стоящая перед российскими предприятиями в этих условиях, — учесть новые реалии экономики знаний и разработать адекватные ей принципы новой управленческой парадигмы, которую должны принять со-

временные отечественные организации, чтобы преуспеть на глобальных рынках с новыми формами конкуренции и информационными технологиями.

Атрибутом управления в общественном производстве, как известно, является целенаправленность в ведении и управлении, а также в производственных процессах. В этой связи важно разработать концепцию управления эффективным развитием промышленных предприятий, определяемую как принятием решений по использованию ресурсов, так и методологическим инструментарием, обеспечивающим выбор наиболее эффективной альтернативы при принятии управленческого решения. Из этого следует центральное условие эффективного управления — адекватность используемого инструментария управления условиям социально-экономической системы, в которой функционирует общественное производство [5]. Вместе с тем факторы и инструменты управленческого решения, будучи взаимосвязанными в социально-экономической системе, развиваются по законам эволюции своих институтов, что приводит к определённому уровню их взаимной неадекватности, для преодоления которой необходимо внешнее целенаправленное воздействие. Выявить эту неадекватность и определить характер воздействий для её устранения можно только в границах управленческой парадигмы, в связи с чем возникает проблема идентификации управленческой парадигмы, присущей конкретной социально-экономической системе функционирования общественного производства.

Управленческая парадигма имеет субъективную, уникальную природу, которая определяется социально-экономической системой. Её изменения обусловлены развитием общественного производства и методов его управления. Природа управленческой парадигмы обусловливает наличие значительного проявления неформальных и идеологических факторов в её структуре. Неформальные факторы могут иметь как историческую природу, то есть быть фактически существующими, но ещё не получить научного, идеологического или какого-либо иного обобщения, так и субъективную природу в виде фактически применяемых концепций и методов управления, но не декларируемых для предотвращения формальной идентификации противоречия с официально продекларированными целями и концепциями государственной стратегии и общественного производства. Последний случай не исключает ситуации фактической поддержки неформальных институций управленческой парадигмы официальными государственными и производственными структурами управления как снижающих степень влияния проблем, возникающих в процессе достижения формальных и неформальных целей государства, предприятия и конкретных руководителей.

На основании обобщения результатов теоретических исследований и практики можно выделить характерные черты системы управления, присущие отечественным предприятиям и адекватные условиям новой экономики (табл.).

Основными целями предприятия в современных условиях должны стать интересы клиентов, акционеров и персонала, удовлетворение требований конкретного потребителя. Знаний и информации должно быть достаточно, чтобы гибко реагировать на изменения требований клиентов и работников предприятия.

Среднее и низовое звенья менеджмента становятся главным управленческим звеном, обеспечивающим конкурентоспособность предприятия, поскольку именно на эти уровни менеджмента возложено принятие оперативных решений и распоряжений и от скорости и правильности их принятия во многом зависит реализация инновационной деятельности на предприятии.

Специфика инновационных процессов как объекта управления предопределяет особый характер труда менеджеров в этой сфере и требования, предъявляемые к ним. Так как основным предметом труда менеджера является научно-техническая и управленческая информация, резко возрастают требования к его компетентности в области специализации предприятия, коммуникабельности, а также к знаниям в области теории и навыкам в сфере практики управления.

Характерные черты существующей и новой управленческой парадигмы

Основные характеристики управленческой парадигмы	Содержание существующей управленческой парадигмы	Содержание новой управленческой парадигмы
Цель предприятия	Максимизация прибыли, рост курсовой стоимости акций	Приоритет в учёте интересов клиентов, акционеров и персонала, удовлетворение требований конкретного потребителя
Главное управленческое звено, обеспечивающее конкурентоспособность предприятия	Высшее звено менеджмента	Среднее и низовое звенья менеджмента
Принцип организации деятельности	Рациональная организация и функциональная специализация, позволяющие быстро реагировать на потребности клиентов	Базирование на знаниях и информации, позволяющее быстро реагировать на требования клиентов и работников
Кадры предприятия	Объект менеджмента	Субъект менеджмента, носители ключевых компетенций предприятия
Мотивация менеджеров	Достижение поставленной цели, ограниченной достижением среднего уровня успеха	Видение персоналом целей предприятия, предусматривающих её долгосрочное выживание в условиях изменяющейся среды и конкуренции
Подход к конкуренции	Структурный подход, основанный на структурном позиционировании предприятия по отношению к внешней среде, конкурентам	Ресурсный подход, основанный на выявлении и развитии ключевых компетенций предприятия
Реакция на изменение окружающей среды	Реактивная	Стратегическая, активное использование внутреннего потенциала предприятия в целях изменения внешнего окружения
Стиль руководства	Авторитарный, с элементами демократического	Демократический, способствующий раскрытию работниками своих способностей, формированию команды единомышленников
Информация	Строго дозированная	Управление по принципу «открытой книги»

Кадры предприятия становятся субъектом менеджмента, носителем ключевых компетенций предприятия. Видение персоналом целей предприятия, предусматривающих его долгосрочное выживание в условиях изменяющейся среды и конкуренции, является мотивационным фактором деятельности менеджеров. Преобладание демократического стиля руководства способствует раскрытию работниками своих способностей, формированию команды единомышленников.

Выводы. Современная система управления базируется на стратегической реакции предприятия на изменение окружающей среды, активное использование внутреннего потенциала предприятия в целях изменения внешнего окружения. Инновационная деятельность должна стать частью стратегии развития предприятия, а не ответом на действия конкурентов, что зачастую приводит предприятия к банкротству.

Таким образом, использование инструментария управления, адекватного современным условиям социально-экономической системы, в которой функционирует общественное производство, обеспечит совершенствование процесса управления деятельностью предприятия с целью достижения его эффективного развития.

Библиографический список

1. Инновационные процессы и социально-экономическое развитие: г. Реутов — наукоград Рос. Федерации: науч. тр.: Вып. 2. Муниципальный. — Москва: Граница, 2004. — 456 с.

2. Инновационное управление современным предприятием: монография / С. И. Алтухов, И. В. Мицук, О. А. Шушаков. — Новосибирск: МАН, 2006. — 206 с.

3. Тренёв, Н. Н. Методология стратегического управления предприятием на основе самоорганизации / Н. Н. Тренёв // Консультант директора. — 2006. — № 21. — С. 10—25.

4. Инновационные процессы в управлении предприятиями и организациями: VI Междунар. науч.-практ. конф., 30—31 окт. 2007 г.: сб. ст. — Пенза: ПДЗ, 2007. — 104 с.

5. Репин, В. В. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов / В. В. Репин. — Москва: Стандарты и качество, 2005.

Материал поступил в редакцию 02.12.2011.

References

1. Innovacionny`e processy` i social`no-e`konomicheskoe razvitie: g. Reutov — naukograd Ros. Federacii: nauch. tr.: Vy`p. 2. Municipal`ny`j. — Moskva: Granicza, 2004. — 456 s. — In Russian.

2. Innovacionnoe upravlenie sovremenny`m predpriyatiem: monografiya / S. I. Altuxov, I. V. Miczuk, O. A. Shushakov. — Novosibirsk: MAN, 2006. — 206 s. — In Russian.

3. Trenyov, N. N. Metodologiya strategicheskogo upravleniya predpriyatiem na osnove samoorganizacii / N. N. Trenyov // Konsul`tant direktora. — 2006. — № 21. — S. 10—25. — In Russian.

4. Innovacionny`e processy` v upravlenii predpriyatiyami i organizaciyami: VI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 30—31 okt. 2007 g.: sb. st. — Penza: PDZ, 2007. — 104 s. — In Russian.

5. Repin, V. V. Processny`j podxod k upravleniyu. Modelirovanie biznes-processov / V. V. Repin. — Moskva: Standarty` i kachestvo, 2005. — In Russian.

FUNDAMENTALS OF MODERN CONTROL SYSTEM OF INDUSTRIAL ENTERPRISE DEVELOPMENT

K. A. Barmuta
(Don State Technical University)

Management organization and improvement of the effective development of the industrial enterprises as the complex economic and social systems is one of the Russian economic stabilization key problems. A management attribute in the public production is purposiveness of the management and productive processes. The identifying features of the existing and new managerial system, inherent in the national enterprises and adequate for the new economy, are defined on the ground of the theoretical and practical results.

Keywords: *management of enterprise, management models, management paradigm.*

УДК 005.591.6:658

Трансфер инноваций: организация и управление инфраструктурными элементами

Е. А. Мидлер, Н. М. Ованесян, И. В. Богуславский
(Донской государственный технический университет)

Рассмотрена система трансфера инноваций в аспекте интегрирования её разрозненных инфраструктурных звеньев. Предлагается методика формирования института инновационного брокерства как наиболее эффективного инструмента управления нововведениями. Проанализированы региональная специфика и организационное устройство инновационной инфраструктуры на примере Ростовской области.
Ключевые слова: *инновация, трансфер инноваций, инновационная инфраструктура, инновационное брокерство.*

Введение. Инфраструктурное звено национальной инновационной системы является важнейшим условием производства и трансфера инноваций, поскольку способствует реализации образовательного, экономического, производственного, научного, а главное — инновационного потенциалов субъектов экономических отношений. Именно такая гармонизация делает актуальной проблему создания инфраструктурных условий для инновационной деятельности, поскольку фрагментарность инновационной инфраструктуры и отсутствие критической массы нововведений является основным препятствием на пути становления инновационной экономики России.

Место инновационной инфраструктуры в системе трансфера инноваций. Особенность инфраструктурных образований заключается в специализированной направленности, подсистемном характере. Назначение инфраструктуры инновационного процесса состоит в содействии продвижению по цепочке создания добавленной стоимости. Нельзя согласиться, на наш взгляд, с исследовательскими подходами, связывающими понимание инфраструктуры инновационного процесса исключительно с её производственно-технологическим компонентом, а именно с организациями, облегчающими продвижение инновационных продуктов на рынок [1, 23—27].

Подобное понимание инновационной инфраструктуры инициирует в практическом плане появление структур, отторгаемых рынком, но административно регламентируемых и наделяемых весьма размытыми полномочиями. Не имеют особой практической значимости и появившиеся в недавних исследованиях размышления о содержательном наполнении данной категории [2, 83—86].

Считаем, что доминирующее влияние данного института в контексте формирования инновационного ядра модернизационных процессов заключается в выявлении инновационных потребностей и коммерциализации инновационных возможностей участников воспроизводственного процесса. В рамках данного подхода инновационная инфраструктура представляется как совокупность всех подсистем, обеспечивающих доступ к различным ресурсам (активам) и (или) оказывающих услуги участникам инновационной деятельности [3, 22].

И широкая, и узкая трактовки данной категории в современных исследованиях не отражают основной функции, которая должна быть реализована инфраструктурными элементами — коммерциализации интеллектуальных продуктов как результатов креативного человеческого потенциала, создаваемых в различных секторах экономики.

Инфраструктурная составляющая инновационного ядра модернизационных процессов является носителем мотивационных импульсов инновационной деятельности. Инновационная инфраструктура формирует среду инновационного воспроизводства, поскольку создаёт предпосылки к генерированию новшеств, к мультипликации и тиражированию инновационного эффекта. Следует выделить главное назначение института инновационной инфраструктуры, состоящее в

распознавании (а зачастую и в формировании), оформлении и продвижении на рынок инновационной потребности.

Организационные особенности трансфера инноваций. Основой трансфера инноваций является инновационная инфраструктура. Организация инфраструктурных элементов может быть представлена в широком и узком форматах. В расширительном формате инфраструктура инновационной деятельности включает следующие подсистемы [4, 23—25]:

– финансовую: бюджетные, венчурные, инвестиционные фонды, а также финансовые институты (например, фондовый рынок, рынок страхования объектов инновационной деятельности);

– производственно-технологическую (или материальную): технопарки, технополисы, инновационно-технологические центры, центры трансфера технологий, бизнес-инкубаторы, центры оценки инноваций и др.);

– информационную: центры доступа (коллективного пользования), базы данных и знаний, организации, оказывающие аналитические, статистические, информационные услуги;

– кадровую: образовательные учреждения, занимающиеся подготовкой и переподготовкой кадров в области научного и инновационного менеджмента, технологического аудита, маркетинга, центры дополнительного и бизнес-образования;

– экспертно-консалтинговую: организации, занятые оказанием услуг по проблемам ИС, стандартизации и сертификации (центры консалтинга, в том числе специализирующиеся в сферах финансов, маркетинга, инвестиций, управления).

Функциональное назначение объектов инновационной инфраструктуры состоит не просто в обеспечении доступа субъектов инновационной деятельности к трудовым, производственным, информационным ресурсам. Инфраструктурные образования генерируют эффективность инновационного процесса путем создания и сопровождения (в прямом контакте с потребителем) интеллектуальной услуги. В данной связи следует отметить пороговый параметр мотивационного механизма инновационной инфраструктуры — взаимодействие акторов и спроса, и предложения.

Состав и устройство инновационной инфраструктуры. Количественные параметры инновационной инфраструктуры определяются основополагающими характеристиками самой национальной инновационной системы (НИС). Это означает, что инфраструктура различных типов НИС, их конфигурация различаются весьма значительно. Инфраструктурные отличия административной и рыночной НИС достаточно обстоятельно исследованы в отечественной экономической науке, И. Дежиной, Б. Салтыковым, Н. Ивановой доказано, что наиболее эффективная конфигурация инновационной инфраструктуры достигается в НИС рыночного типа.

Вместе с тем в посткризисных условиях роль инфраструктурного компонента, составляющего основу процессов трансфера и диффузии нововведений, оказывается недооценённой. Отсюда автаркичность, хаотичность инновационных преобразований и разорванность петель прямых и обратных связей в системе инновационного воспроизводства.

Формирование объектов инновационной инфраструктуры в большей степени зависит не столько от рыночных факторов, сколько от политики, проводимой государством в инновационной сфере. В условиях мирового финансового кризиса именно государственная политика, апеллирующая к различным бюджетным, налоговым инструментам поддержки и регулирования деятельности субъектов НИС, является средой формирования подсистемного фона инновационной деятельности.

Новый подход к оценке эффективности инфраструктурной составляющей инновационного развития заключается в достижении соответствия инструментальных ресурсов поставленным задачам в плане обеспечения возможностей рационального использования траекторий развития уже сложившегося инновационного потенциала и отбора наиболее приемлемых моделей развития. Вполне уместно, по нашему мнению, включить в состав производственно-технологического

компонента инновационной инфраструктуры элементы информационного, экспертно-консалтингового и кадрового обеспечения. Подобная архитектоника данного института позволит весьма органично сочетать интересы всех участников воспроизводственного процесса путем взаимопересечения инновационных сигналов и импульсов.

Считаем, что указанная функция может быть реализована путем формирования интегрированной инновационной инфраструктуры, или института инновационного брокерства. Вводимое нами понятие института инновационного брокерства предполагает систематизацию инфраструктурных разновидностей, сочетание всех граней инфраструктурных интерфейсов, обеспечивающих не просто взаимодействие субъектов инновационной деятельности, а их агрегированный эффект. Именно с отсутствием или недостаточностью развития данного института связана проблема низкой мотивации и слабой инновационной активности в России. Острота данной проблемы признаётся и на государственном уровне, что находит выражение в разработке законодательной базы, обеспечивающей эффективность данного института.

Инновационное брокерство в системе управления процессами трансфера. Методика формирования института интегрированной инновационной инфраструктуры основана на введении в производственный процесс инструментов инновационного брокерства, позволяющих сформировать эффективную бизнес-среду и бизнес-процессы, активирующие инновационный потенциал предприятий и организаций. Институт посредничества выступает ядром инновационной инфраструктуры, закладывает фундамент мотивационных механизмов и управленческих трансакций (действий и решений). Не случайно Ф. Янсен в модели ТАМО выделяет такой элемент, как организационные формы (О). Разработка новых технологий, приложений и рынков/рыночных групп часто требует от организации определённой адаптации. Поэтому, как отмечает Ф. Янсен, в дополнение к трём вышеназванным, возникает потребность в четвёртой координате инновационной арены, которую можно назвать «организационной» [5], включающей не только внутреннюю организационную структуру, но и внешнюю организацию инноваций.

Подобное расширение инновационной арены свидетельствует о признании необходимости адаптационных механизмов, обеспечивающих коммерциализацию нововведения. Таким образом, инновационное брокерство рассматривается нами в спектре мотивационных и адаптационных механизмов. Элементы интегрированной инновационной инфраструктуры, следовательно, подразделяются на мотивационные и адаптационные. К первым могут быть отнесены финансовые инструменты и кадровая составляющая, поскольку именно они задают условия и стимулы производства нововведений, а также устанавливают ключевых стейкхолдеров инновационного процесса. Мотивационная подсистема призвана воздействовать на предложение, в то время как подсистема адаптационная производит «упаковку», продвигает продукты интеллектуального производства, превращая последние в товар. Поэтому её назначение видится в запуске и «наладке» спроса, модификации структуры потребностей. Следовательно, к подсистеме адаптационного порядка могут быть отнесены производственно-технологический, информационный и экспертно-консалтинговый блоки.

Инструменты организации и управления. В качестве инструментов управления интегрированной инновационной инфраструктуры в России, в дополнение к уже достаточно исследованным, могут быть использованы инновационный ваучер и процесс, названный в мировой практике процессом продвижения инноваций (ППИ). При этом инновационный ваучер применяется в мотивационной подсистеме, а ППИ — в адаптационной.

Инновационный ваучер — это финансовый стимул для приобретения компаниями внешних инновационных консультационных услуг. Он призван улучшить инновационную деятельность компаний, относящихся к малому и среднему бизнесу. Главная цель применения подобного инструмента — создание новых инноваций и возможностей для бизнеса. Он весьма эффективно ис-

пользуется в Нидерландах, Великобритании, Исландии, Канаде, Швеции, Финляндии [9]. Как показали данные пилотного проекта 2006—2007 гг. (Финляндия), лучшие результаты были достигнуты в научно-инженерных проектах, технологической экспертизе и услугах по трансферу технологий. Положительный опыт применения инновационного ваучера был получен в сфере бизнес-планирования, анализа рынка и услугах по защите авторских прав. Показательно то, что при использовании данного инструмента не было выявлено значительных недостатков: из 55 ваучеров 26 были использованы на базе коммерциализации, 29 — для операций по исследованиям и разработкам и ни один из ваучеров не был использован для создания идеи.

Последнее обстоятельство подтверждает тезис о том, что генерирование идей и инициирование инноваций происходит в секторе образования и науки, а также частично в корпоративном сегменте, где система стимулирования иная. Соответственно, ареол использования инновационного ваучера элиминируется частными интересами, предпринимательской инициативой и, несомненно, конъюнктурными факторами.

Инструментом, эффективность которого подтверждается эмпирически, является ППИ. Типологическая особенность ППИ состоит в том, что сущность подобного инструмента проявляется в форме процессного метода, цель которого — обновление компонентов деловой активности компании. Подобный механизм расширяет границы возможностей бизнес-процессов, так как направлен на систематический поиск возможных инноваций и новых идей. Кульминацией данного процесса является соединение внешних знаний с опытом и знаниями самой компании, протекающее в условиях «квазимозгового штурма», основанного на идее привлечения экспертов-представителей из различных, не связанных областей знаний.

Данный способ по эффективности обновления бизнес-процессов превосходит метод «мозгового штурма», поскольку принимаются и учитываются мнения внешних экспертов. ППИ включает в себя этап тщательной подготовки и постановки целей, занимает более длительный период времени. Положительно и то, что неотъемлемой частью ППИ являются мероприятия по развитию идей, происходит концентрация различных областей знаний. ППИ способствует формированию креативности компаниям, которые сталкиваются с трудностями в поддержании конкурентоспособности и обеспечении продолжения деловой активности, а также является методом распространения академических знаний среди компаний.

Рассмотренная выше методика базируется на интеграции процессов производства знания (инноваций) и их избирательной рыночной адаптации (коммерциализации) в единый воспроизводственный цикл. Данный подход, на наш взгляд, позволяет избежать достаточно распространённого в настоящее время априорного наложения бизнес-модели на все без исключения сферы (к примеру, на сферы образования и науки), производящие и передающие знания.

Признание инновационного брокерства, или интегрированного института инновационной инфраструктуры, в качестве доминанты инновационного процесса позволяет оценить эффективность бизнес-процессов в системе коммерциализации нововведения и очертить контуры наиболее оптимальной его конфигурации на уровне фирмы и на макроуровне.

Поскольку адаптационная подсистема интегрированной инновационной инфраструктуры базируется на комбинировании производственно-технологических и консалтинго-экспертных функций, область действия данного института задаётся ключевыми бизнес-процессами в сфере малого и среднего предпринимательства, так как именно последние, в отличие от крупных корпораций, не обладают соответствующим ресурсным потенциалом для налаживания инновационного воспроизводства. Стержневыми элементами подобной системы бизнес-процессов в России выступают технополисы, технопарки, бизнес-инкубаторы, центры трансфера технологий, инновационные технологические центры и прочие структуры, осуществляющие взаимодействие в системе инновационного бизнес-процесса.

Данный подход позволяет утверждать, что наполнение инновационного ядра как основы модернизации экономики включает не просто пересечение сфер интересов в рамках тройной спирали «государство-бизнес-наука», достаточно глубоко исследованной в отечественной теории инновационного развития, но и детерминирует качественное состояние подобных наложений.

Становление малой наукоёмкой фирмы может происходить одним из трёх основных способов: 1) выход учёных и инженеров из состава научных учреждений со своей разработкой или с уже запатентованной технологией; 2) возвращение бывших исследователей, накопивших первоначальный капитал в других видах деятельности, к наукоёмкому бизнесу; 3) создание альянсов учёных и бизнесменов [9]. Самым распространённым является первый способ. Наиболее редко встречающийся — путь восхождения от потребностей рынка к научным разработкам и налаживанию собственного производства. При этом в становлении малой наукоёмкой фирмы и её инфраструктурных компонентов чаще всего задействованы собственные средства самих же указанных подразделений.

Российская модель трансфера инноваций. Модель трансфера инноваций в российской экономике формирует именно политика «продвинутого патернализма». Практически все успешные инновационные компании вышли из университетской среды. Ведь именно на базе университетских комплексов в России функционируют такие объекты инновационной инфраструктуры, как технопарки, бизнес-инкубаторы, инновационно-технологические центры.

Большинство технопарков организовывалось с целью получения дополнительных бюджетных средств под новую структуру. Государство также не проводит селективной политики по заданным критериям. В частности, расчёт окупаемости проектов весьма условен при обосновании, например, создания студенческого бизнес-инкубатора (как составляющей технопарка) и выделения бюджетных средств для нового инфраструктурного компонента.

Зависимость от базовой организации, негибкость управления, отсутствие стимулирующего механизма к поиску и отбору инновационных проектов модифицировали назначение данного элемента инновационной инфраструктуры, превратив технопарки, а затем и бизнес-инкубаторы в «площадки безопасности», ограждающие от агрессивной внешней среды. Характерно и то, что региональные технопарки, например, «Таганрог», являющиеся стержневыми, градообразующими системами, наталкиваются на ресурсные ограничения, сдерживающие их развитие и создание малых инновационных предприятий [10].

Эволюция института интегрированной инновационной инфраструктуры в России наглядно иллюстрирует действие «технологического толчка» с одной стороны и достаточно мозаичную, никак между собой не связанную композицию инфраструктурных элементов — с другой. Так, основная часть наиболее эффективных российских технопарков была создана ещё в конце 1980 — начале 1990-х гг. и продолжает действовать в системе высшей школы. Поскольку они создавались в качестве структурных подразделений вузов, поддержка и создание малых инновационных предприятий не входила в зону их интересов. Показательно, что технопарки, созданные в условиях новой экономики и принимающие форму IT-парков, тяготеют уже не к университетским комплексам, а к крупным корпорациям.

Региональная специфика трансфера инноваций. В Ростовской области в настоящее время при осуществлении своей научно-технической и инновационной деятельности технопарки, как и другие предприятия инновационной инфраструктуры, сотрудничают со многими иными структурами (рис. 1) [11, 89—92].

Наиболее распространено сотрудничество инфраструктурных подразделений Ростовской области с НИИ, КБ (64 %) и вузами (60 %). Менее половины опрошенных ответили, что имеют деловые связи с инновационными средними и мелкими фирмами (40 %), некоммерческими организациями инновационной ориентации (24 %) и научно-техническими отделами крупных фирм

(20 %). Отрицательным можно признать то, что ни один из опрошенных представителей инфраструктурных подразделений поддержки инновационного малого и среднего предпринимательства не указал в качестве структур, с которыми сотрудничает, венчурные фонды, фонды содействия развитию малого предпринимательства, иностранные финансовые структуры (МБРР и ЕБРР).

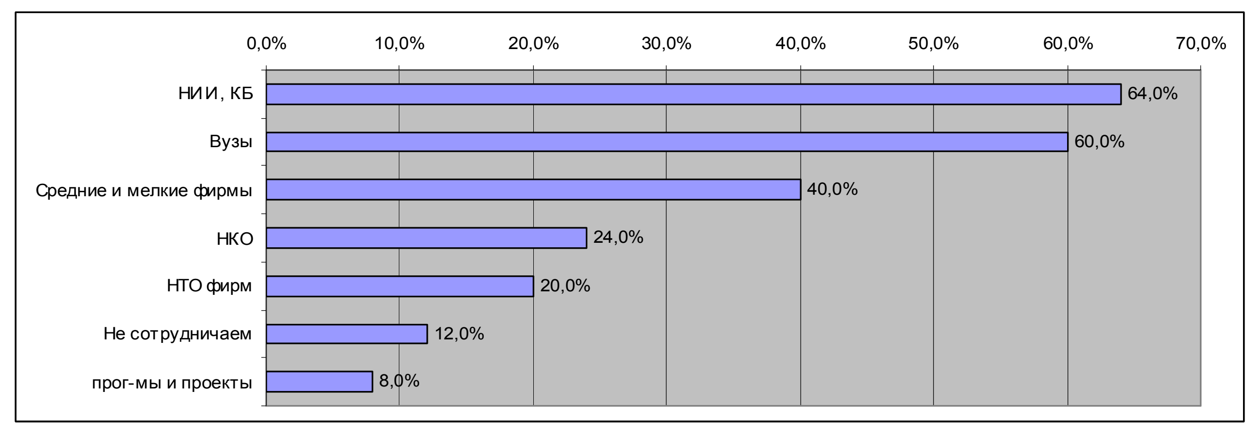


Рис. 1. Направления сотрудничества университетских технопарков с инфраструктурными подразделениями государственного и частного секторов

Необходимо отметить, что среди инфраструктурных подразделений наблюдается потребность в активизации сотрудничества практически со всеми хозяйствующими субъектами (рис. 2).

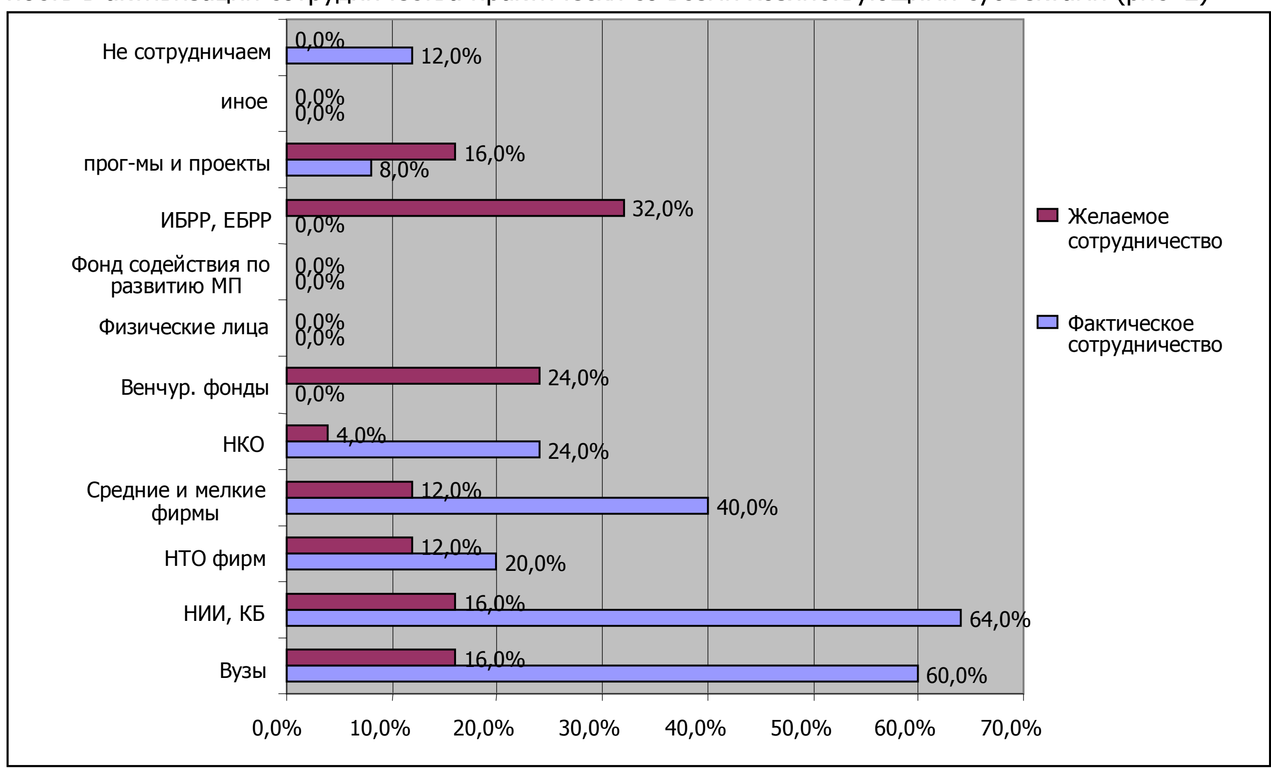


Рис. 2. Фактическое и желаемое сотрудничество организаций инфраструктуры поддержки малого и среднего инновационного бизнеса с другими структурами, % опрошенных

Можно предположить, что производственно-технологические инфраструктурные подразделения частнопредпринимательского сектора мотивированы на взаимодействие с такими структурами, как вузы, НИИ и КБ, венчурные фонды и иностранные финансовые структуры (МБРР и

ЕБРР) по причине формирования последними длительного и устойчивого спроса на услуги инновационных посредников.

Выводы. Инновационное брокерство как обособленный институциональный инструмент построения эффективной модели трансфера и диффузии нововведений применим в сегменте малого и среднего предпринимательства. Для крупных корпораций характерен принцип встроенности инновационных инфраструктурных подразделений в производственный цикл, в цепочку создания добавленной стоимости.

Повышение эффективности воздействия института инновационного брокерства на производственный цикл на основе инноваций может быть достигнуто посредством:

– переориентации инновационной инфраструктуры на поддержку организационных, маркетинговых и особенно финансовых инноваций, на консультационную поддержку таких недооценённых организациями инфраструктуры, но востребованных субъектами малого и среднего предпринимательства этапов инновационного процесса, как модернизация продукта и патентование;

– усиления финансовой поддержки малых и средних инновационных фирм не посредством прямой бюджетной поддержки, а путём создания финансовых и экспертно-консалтинговых объектов инфраструктуры;

– снижения информационной асимметрии, предоставления информационной поддержки со стороны государства в расширении зоны доступа инновационных заделов для всех участников инновационного процесса.

Библиографический список

1. Яковенко, Н. Н. Опыт создания инновационного бизнес-инкубатора в Ставропольском крае / Н. Н. Яковенко // Инновации. — 2008. — № 3 (113). — С. 23—27.

2. Чернов, А. С. Формирование инновационной инфраструктуры в регионах России / А. С. Чернов // Инновации. — 2008. — № 3 (113). — С. 83—86.

3. Дежина, И. Г. Механизмы стимулирования коммерциализации исследований и разработок / И. Г. Дежина, Б. Г. Салтыков. — Москва: ИЭПП, 2004. — С. 22.

4. Янсен, Ф. Эпоха инноваций: пер. с англ. / Ф. Янсен. — Москва: ИНФРА-М, 2002. — С. 85.

5. Проект SPb InnoReg «Инструменты продвижения инновационных продуктов и услуг, используемых в странах Европейского Союза» // Инновации. — 2009. — № 4 (126). — С. 22—24.

6. Дежина, И. Г. Государство, наука и бизнес в инновационной системе России / И. Г. Дежина, В. В. Киселёва. — Москва: ИЭПП, 2008.

7. Голиченко, О. Г. Национальная инновационная система России: состояние и пути развития / О. Г. Голиченко. — Москва: Наука, 2006.

8. Дежина, И. Г. Новые инструменты государственного стимулирования инновационной деятельности / И. Г. Дежина // Инновации. — 2005. — № 4 (81). — С. 32.

9. Инновационная система России: модель и перспективы её развития. Вып. 2 / рук. О. Г. Голиченко. — Москва: РУДН, 2003. — С. 181.

10. Корецкий, А. А. Ростовская область: оптимальная конфигурация инновационной инфраструктуры [Электронный ресурс] / А. А. Корецкий // Эксперт-юг. — 09.06.2009. — URL: http://www.almedia.ru (дата обращения: 10.12.2011).

11. Мидлер, Е. А. Генерирование и трансфер инноваций в системе формирования новой экономики / Е. А. Мидлер. — Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ ЮФУ АПСН, 2010.

Материал поступил в редакцию 1.03.2012.

References

1. Yakovenko, N. N. Opy`t sozdaniya innovacionnogo biznes-inkubatora v Stavropol`skom krae / N. N. Yakovenko // Innovacii. — 2008. — № 3 (113). — S. 23—27. — In Russian.

2. Chernov, A. S. Formirovanie innovacionnoj infrastruktury` v regionax Rossii / A. S. Chernov // Innovacii. — 2008. — № 3 (113). — S. 83—86. — In Russian.

3. Dezhina, I. G. Mexanizmy` stimulirovaniya kommercializacii issledovanij i razrabotok / I. G. Dezhina, B. G. Salty`kov. — Moskva: IE`PP, 2004. — S. 22. — In Russian.

4. Yansen, F. E`poxa innovacij: per. s angl. / F. Yansen. — Moskva: INFRA-M, 2002. — S. 85. — In Russian.

5. Proekt SPb InnoReg «Instrumenty` prodvizheniya innovacionny`x produktov i uslug, ispol`zuemy`x v stranax Evropejskogo Soyuza» // Innovacii. — 2009. — № 4 (126). — S. 22—24. — In Russian.

6. Dezhina, I. G. Gosudarstvo, nauka i biznes v innovacionnoj sisteme Rossii / I. G. Dezhina, V. V. Kiselyova. — Moskva: IE`PP, 2008. — In Russian.

7. Golichenko, O. G. Nacional`naya innovacionnaya sistema Rossii: sostoyanie i puti razvitiya / O. G. Golichenko. — Moskva: Nauka, 2006. — In Russian.

8. Dezhina, I. G. Novy`e instrumenty` gosudarstvennogo stimulirovaniya innovacionnoj deyatel`nosti / I. G. Dezhina // Innovacii. — 2005. — № 4 (81). — S. 32. — In Russian.

9. Innovacionnaya sistema Rossii: model` i perspektivy` eyo razvitiya. Vy`p. 2 / ruk. O. G. Golichenko. — Moskva: RUDN, 2003. — S. 181. — In Russian.

10. Koreczkij, A. A. Rostovskaya oblast`: optimal`naya konfiguraciya innovacionnoj infrastruktury` [E`lektronny`j resurs] / A. A. Koreczkij // E`kspert-yug. — 09.06.2009. — URL: http://www.almedia.ru (data obrashheniya: 10.12.2011). — In Russian.

11. Midler, E. A. Generirovanie i transfer innovacij v sisteme formirovaniya novoj e`konomiki / E. A. Midler. — Rostov-na-Donu: SKNCz VSh YuFU APSN, 2010. — In Russian.

TRANSFER OF INNOVATIONS: INFRASTRUCTURE ELEMENTS ORGANIZATION AND MANAGEMENT

E. A. Midler, N. M. Ovanesyan, I. V. Boguslavskiy
(Don State Technical University)

The innovation transfer system in terms of the integration of its disjoint infrastructural elements is considered. The establishing technique of the innovative brokerage institute as the most effective innovation management tool is considered. The local specificity and organization of the innovation infrastructure in case of the Rostov region are analyzed.

Keywords: *innovation, transfer of innovations, innovation infrastructure, innovative brokerage.*

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.791.75.01

Технологические предпосылки управления импульсно-дуговой сваркой плавящимся электродом

Н. Г. Дюргеров, Х. Н. Сагиров, И. С. Морозкин
(Ростовский государственный университет путей сообщения)

Рассматриваются технологические предпосылки унификации режимов импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом в аргоне. Приведена последовательность расчёта режимов.
Ключевые слова: *импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом, унификация режимов.*

Введение. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом (ИДСП) характеризуется, помимо общих известных параметров режима — таких, как скорость подачи электрода, напряжение на дуге, средний ток, — рядом специфических параметров: базовый ток, амплитуда импульсов, частота следования импульсов, их длительность.

Устанавливая режим, оператор должен выбрать не только известные параметры режима сварки, но и определить оптимальные значения указанных специфических параметров импульсного процесса. Учитывая сложную взаимосвязь между группами параметров, задача эта представляется весьма сложной, а процесс сварки может быть далёк от оптимального.

Задача может быть упрощена благодаря унификации режимов ИДСП для различных материалов. В данной работе рассмотрены режимы ИДСП малоуглеродистых и нержавеющих сталей, алюминиевых, медных и титановых сплавов.

В качестве параметров импульсного процесса приняты: амплитуда импульсов $I_п$, их длительность $t_и$ и частота следования $f_и$. Остальные параметры импульсного процесса могут быть определены через указанные.

Рассматриваемые положения справедливы для ИДСП в аргоне, когда имеет место оптимальный управляемый перенос металла (одним импульсом в конце его действия от электрода отрывается и переносится в сварочную ванну одна капля расплавленного металла).

Режимы ИДСП малоуглеродистых и нержавеющих сталей, алюминиевых, медных и титановых сплавов. Ниже приводятся режимы ИДС для различных металлов по материалам работ [1—3].

Исследования, проведённые независимо от свариваемого материала, позволяют сделать следующие выводы:

- режим ИДСП (параметры импульсов) практически не зависит от пространственного положения сварки; при этом длительность импульсов может быть принята постоянной $t_и$ = 2,0 мс;

- для частоты следования импульсов $f_и$ целесообразно принять два фиксированных значения f_{min} и f_{max}; первое для малых докритических токов (I = 50—160 А) и второе — для токов, близких к критическому значению (I = 160—250 А), где I_c — средний ток безимпульсного процесса.

Известно, что с ростом тока увеличивается частота переноса капель электродного металла $f_к$. При этом необходимо, чтобы $f_и > f_к$. Частоты f_{min} и f_{max} могут быть приняты соответственно 50 и 100 имп/с.

Для алюминиевых сплавов АМц, АМг-6, 01915 при $d_э$ = 1,6 мм амплитуда импульсов в случае диапазона малых токов должна составлять $I_п$ = 600 А, а для токов, близких к критическому значению, $I_п$ = 350 А.

Для малоуглеродистых сталей амплитуда импульсов для первого диапазона режимов должна составлять $I_п$ = 800 А, а для второго диапазона $I_п$ = 650—700 А.

Из табл. 1 следует, что режимы для всех рассматриваемых металлов и сплавов могут быть унифицированы. Исключение составляют алюминиевые сплавы, для которых требуемая амплитуда импульсов существенно ниже.

Таблица 1

Режимы для всех рассматриваемых металлов и сплавов

Материал	Диаметр электрода $d_э$, мм	Средний ток I_c		Параметры импульсов		
		Диапазон малых токов, А	Диапазон больших токов, А	$t_и$, мс	$f_и$, мп/с	$I_п$, А
Алюминиевые сплавы	1,6—2,0	50—60		2,0	50	600
			160—250	2,0	100	350
Малоуглеродистые стали	1,6	50—160		2,0	50	800
			160—250	2,0	100	700
Медные сплавы	1,6	50—180		2,0	50	800
			180—250	2,0	100	700
Нержавеющие стали.	1,6	50—70		2,0	50	800—850
Титановые сплавы			170—250	2,0	100	700

Это объясняется относительно низким значением коэффициента поверхностного натяжения у алюминиевых сплавов в $\alpha_п$ — 0,35 Н/м по сравнению со сталью 45 — 1,6 Н/м, сталью 30ХГСА — 1,7 Н/м, медью — 1,3 Н/м и титаном — 1,39 Н/м в температурном диапазоне 1870—2050 К. Характерно, что критический ток для алюминиевых сплавов также ниже, чем для других металлов по указанной выше причине.

Таблица 2

Материал и диаметр электрода определяют критический ток

Материал электрода	Амг-6 АМц	Св08А, Св08Г2С	КМц	12Х18Н9Т	ЭП367
Критический ток, А	180	240	240	250	250

Амплитуды импульсов тока для первого и второго диапазона режимов разнятся незначительно, однако следует отметить, что частота переноса капель во втором случае в 2 раза больше, чем в первом.

При ИДСП существует четыре категории параметров режима:

- задаваемые условиями технологии (материал, толщина, вид соединения);

- задаваемые в виде нескольких фиксированных значений, например, два значения частоты следования импульсов для малых (докритических) и близких к критическому токов;

- устанавливаемые самим процессом (саморегулированием), например, эффективный ток;

- с помощью которых можно управлять процессом (напряжение источника питания, скорость подачи электрода).

Исходя из теоретических соображений и практики ИДСП [2], можно констатировать существование следующих связей между указанными параметрами:

1. Материал, толщина, вид соединения и пространственное положение определяют средний ток I_c.

2. Средний ток определяет диаметр электрода. В случае задания плотности тока $d_э$ = = $1{,}12\sqrt{IcIj}$, где j — плотность тока.

3. Материал и диаметр электрода определяют критический ток, табл. 2.

Примечание:

Сварка в среде Ar, $d_э$ = 1,6 мм.

4. Ток и диаметр электрода определяют скорость его подачи

$$V_п = \frac{4\alpha_\rho I}{\pi d_э^2 \gamma}, \quad (1)$$

где $V_п$ — скорость подачи электрода, м/ч, α_ρ — коэффициент расплавления электрода, г/Ач, γ — плотность металла, г/см^3, $d_э$ — диаметр электрода, мм.

5. Частота следования импульсов выбирается в зависимости от тока I_c. С ростом тока растёт частота перехода капель $f_к$ естественного процесса, а следовательно, и требуемая частота импульсов $f_и$. Должно выполняться условие $f_к < f_и < f_{пр}$, где $f_{пр}$ — предельная частота импульсов, определяемая из условия оптимального управляемого переноса металла и стабильности процесса (непрерывности тока) [2].

$$f_{пр} = \frac{2I_c^{1,5} t_и^{0,6}}{2,85 \cdot 10^4 \pi T_ц a_п^{0,5} d_э} \sqrt{\frac{\pi^2 T_ц^2 + t_и^2}{T_ц \left[1 - \exp\left(-2t_и / T_ц\right)\right]}}, \quad (2)$$

где a — коэффициент поверхностного натяжения; $T_ц$ – время цикла импульсного процесса.

При сварке в положениях, отличных от нижнего, когда необходима большая скорость полёта капель, чем при естественном процессе сварки металла, наложение импульсов на дугу следует осуществлять даже тогда, когда сварочный ток соответствует мелкокапельному переносу металла. В связи с этим возникает задача согласования частоты переноса капель $f_к$ с частотой импульсов $f_и$. Для этого предложен коэффициент нерегулярности переноса $K_{нп} = f_к / f_и$. Для управляемого переноса металла $K_{нп} = 1$.

На рис. 1 показана зависимость частоты перехода капель от тока при сварке сплава АМ$_ц$ в аргоне. Из рисунка видно, что для $d_э$ = 1,6 мм и тока 180А частота $f_к$ = 50 имп/с не обеспечивает управляемый перенос металла. Поэтому необходимо выбрать частоту $f_и$, большую частоты естественного перехода капель для данного режима сварки.

Практически, как указывалось ранее, можно ограничиться двумя значениями частоты следования импульсов 50 и 100 имп/с для малых и больших значений среднего тока соответственно.

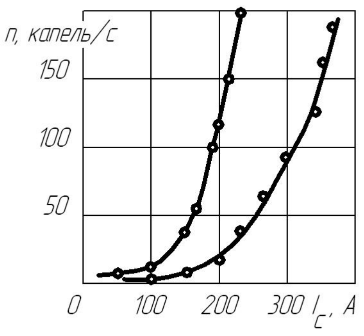


Рис. 1. Зависимость частоты перехода капель от тока при сварке в аргоне (электрод Св – Амц): 1 — $d_э$ = 1,6 мм; 2 — $d_э$ = 2,0 мм

Унифицированные режимы ИДСП должны отвечать условию стабильности процесса — непрерывности горения дуги ($I_б > I_{д\,min}$), когда базовый ток $I_б$ больше минимального тока устойчивого горения дуги $I_{д\,min}$ [2].

Заключение. Режимы ИДСП сталей и цветных металлов практически не зависят от пространственного положения сварки и могут быть унифицированы для электродов одного диаметра. Ис-

ключение составляют алюминиевые сплавы, для которых амплитуда импульсов при прочих равных условиях должна быть меньше на 35—50 %.

Целесообразно условно выделить две группы режимов: для токов, существенно меньших критического, и приближающихся по величине к критическому току. Эти режимы, различающиеся по частоте импульсов, можно унифицировать в пределах указанных групп для различных материалов, приняв одинаковые значения амплитуды и длительности импульсов.

Библиографический список

1. Потапьевский, А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом / А. Г. Потапьевский. — Москва: Машиностроение, 1974. — 239 с.

2. Дюргеров, Н. Г. Оборудование для импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом / Н. Г. Дюргеров, Х. Н. Сагиров, В. А. Ленивкин. — Москва: Энергоатомиздат, 1985.

3. Ленивкин, В. А. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах / В. А. Ленивкин, Н. Г. Дюргеров, Х. Н. Сагиров. — Москва: Машиностроение, 1989. — 262 с.

Материал поступил в редакцию 23.12.2011.

References

1. Potap`evskij, A. G. Svarka v zashhitny`x gazax plavyashhimsya e`lektrodom / A. G. Potap`evskij. — Moskva: Mashinostroenie, 1974. — 239 s. — In Russian.

2. Dyurgerov, N. G. Oborudovanie dlya impul`sno-dugovoj svarki plavyashhimsya e`lektrodom / N. G. Dyurgerov, X. N. Sagirov, V. A. Lenivkin. — Moskva: E`nergoatomizdat, 1985. — In Russian.

3. Lenivkin, V. A. Texnologicheskie svojstva svarochnoj dugi v zashhitny`x gazax / V. A. Lenivkin, N. G. Dyurgerov, X. N. Sagirov. — Moskva: Mashinostroenie, 1989. — 262 s. — In Russian.

TECHNOLOGICAL PREREQUISITES OF CONSUMABLE-ELECTRODE ARC WELDING CONTROL

N. G. Dyurgerov, K. N. Sagirov, I. S. Morozkin
(Rostov State Transport University)

The technological prerequisites of the mode commonality for the consumable-electrode arc welding in argon are considered. The computing chain of modes is resulted.

Keywords: *consumable-electrode arc welding, mode commonality.*

УДК 621.9.06:628.5

Специальный виброамортизатор для снижения вибрации силовой установки плавучих кранов

А. А. Короткий, В. Е. Касьянов*, Е. В. Егельская
(Донской государственный технический университет,
*Ростовский государственный университет путей сообщения)

Приведена конструкция амортизатора для силовых установок высокой мощности (показана эффективность в снижении уровней вибрации в кабине на рабочем месте оператора).
Ключевые слова: *проектирование, виброамортизатор, вибрации, плавучие краны.*

Введение. Серийные (существующие) виброамортизаторы в ряде случаев не обеспечивают требуемого снижения уровней вибраций, в первую очередь, на рабочих местах операторов — сидениях и органах управления. Поэтому ниже приведена конструкция опытного амортизатора.

Результаты исследований. При разработке конструкции учитывались следующие требования:

- габаритные размеры амортизатора должны соответствовать серийному, чтобы не изменять конструкцию мест крепления;
- увеличение виброизолирующих характеристик должно быть достигнуто путём подбора материалов с увеличенными диссипативными свойствами.

В качестве специальных материалов рекомендуется пористый спечённый материал (ПСМ), металлорезина (МР), которые при требуемой прочности имеют высокие коэффициенты затухания.

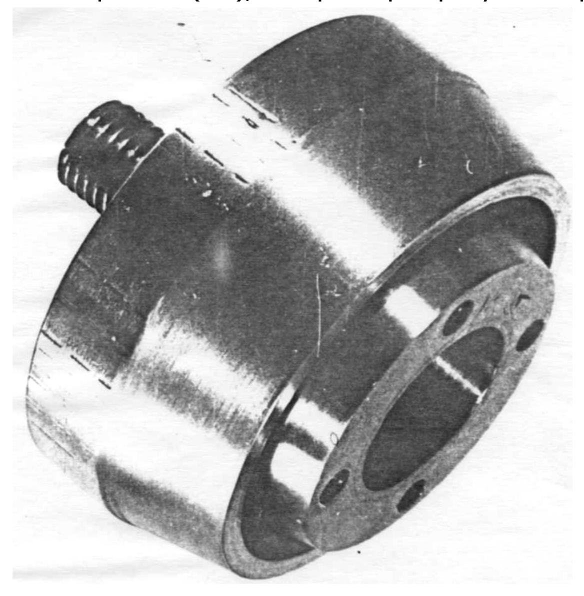




Рис. 1. Общий вид виброопоры

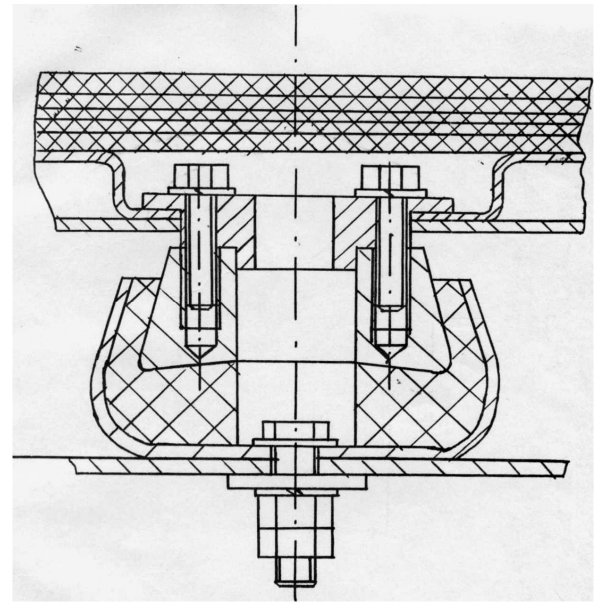


Рис. 2. Установка виброизолятора

В качестве измеряемых величин и оценочных параметров были приняты спектры средних квадратических значений виброускорений в вертикальной плоскости, амплитудно-частотная характеристика и коэффициент вибропередачи в опорах. Данные спектрального анализа полученных результатов экспериментальных исследований представлены на рис. 3. В случае установки на кабину опытных виброизоляторов достигнуты лучшие значения параметров виброизоляции.

Для оценки качества опытных опор по сравнению с серийными, а также для оценки степени улучшения параметров виброизоляции в опорах введён коэффициент оценки эффективности предложенного мероприятия, который определяется следующим образом:

$$k = \frac{\sigma_{выхоп}}{\sigma_{выхс}},$$

где $\sigma_{выхоп}$ — средние квадратические значения виброускорения на выходе опытной опоры; $\sigma_{выхс}$ — средние квадратические значения виброускорения на выходе серийной опоры.

Вычисление коэффициента эффективности по данным третьоктавного анализа (рис. 7—10) выполнялось по выражению:

$$k = 10^{0,05\left[\left(L_{выхоп} - L_{выхс}\right) + \left(L_{вхоп} - L_{вхс}\right)\right]},$$

где $L_{выхоп}$, $L_{выхс}$, $L_{вхоп}$, $L_{вхс}$ — соответственно уровень в дБ виброускорения для третьоктавной полосы частот на выходе опытной, выходе серийной, входе серийной, входе опытной виброопор кабины.

Значения коэффициента эффективности представлены на рис. 4, 5.

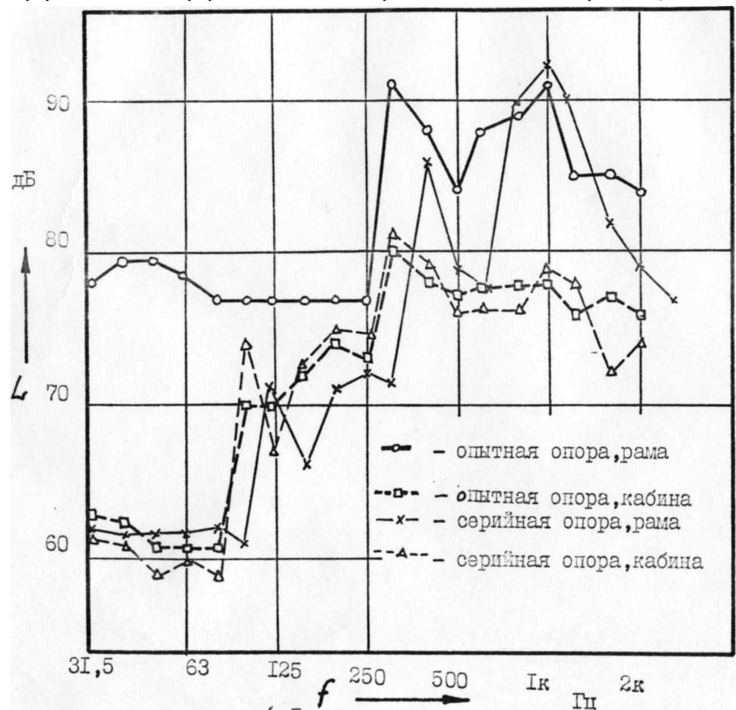


Рис. 3. Третьоктавный спектр виброускорения в вертикальной плоскости. Правая передняя опора кабины. $n_{дв}$ = 2100 $мин^{-1}$

В ходе проведения опытных замеров общей вибрации на сиденье оператора было выявлено влияние установки виброизоляторов различной жёсткости. На рис. 5 представлены спектры виброускорений на рабочем месте оператора. На рис. 6 представлены спектры виброускорений на рабочем месте оператора.

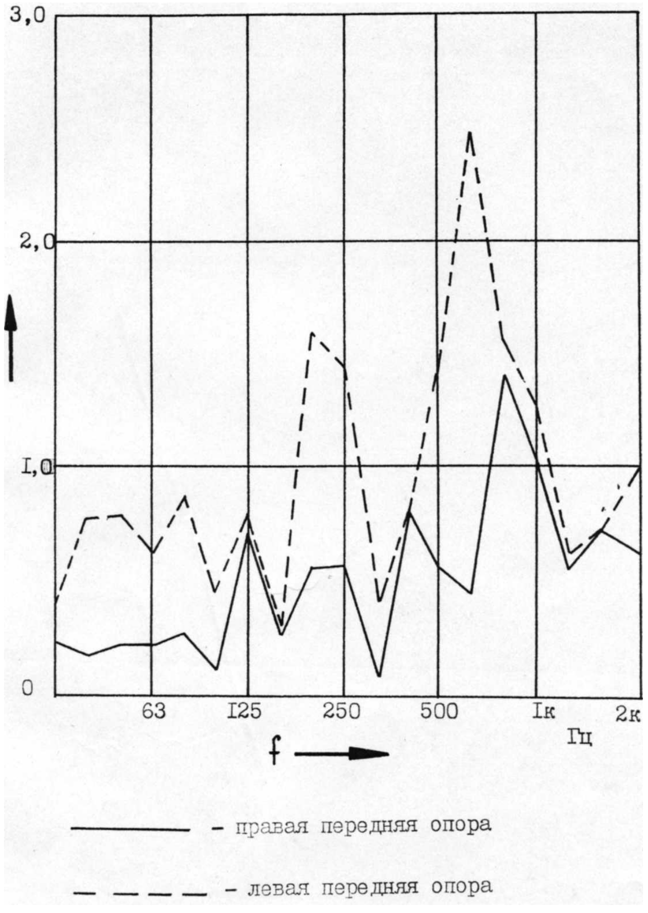


Рис. 4. Коэффициент оценки эффективности

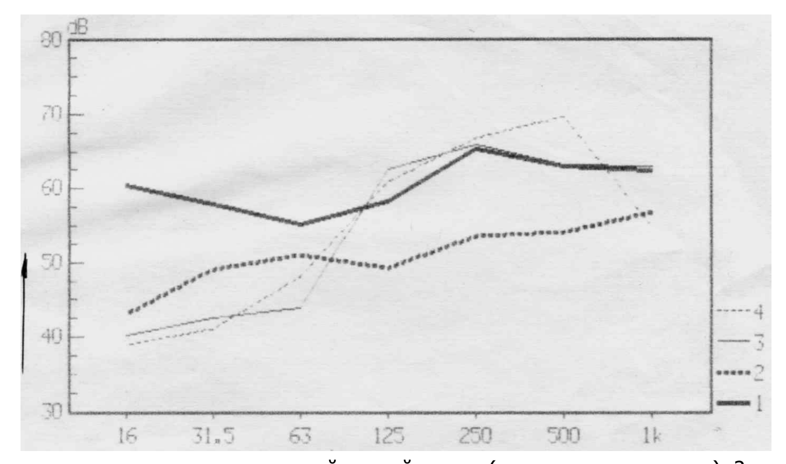


Рис. 5. 1 — виброизоляция рамы в месте крепления левой задней опоры (опора демонтирована), 2 — виброускорения кабины в месте крепления задней левой опоры, 3 — ускорения на раме (правая задняя виброопора), 4 — ускорения на кабине (правая задняя виброопора)

На представленных спектрах видно, что с уменьшением жёсткости виброизоляторов уровни виброускорений на сиденье оператора в диапазоне частот от 16 до 125 Гц уменьшаются на 10 дБ, то есть более чем в три раза. Влияние мягких виброизоляторов значительней. Для виброизоляторов с динамической жёсткостью $3{,}6 \cdot 10^6$ Н/м и $5{,}1 \cdot 10^6$ Н/м уменьшение вибраций составляет 3—6 дБ, что в 1,5—2 раза меньше, чем у серийного виброизолятора.

Влияние жёсткости виброизоляторов на локальную вибрацию рулевого колеса ещё более значительно. Установка опытных опор даёт возможность увеличить виброизоляцию и снизить уровни виброускорений на рулевом колесе (рис. 6).

Применение более мягких опытных виброизоляторов дало возможность более чем на 10 дБ снизить виброускорения на рулевом колесе в сравнении с вариантом установки более жёстких серийных виброопор.

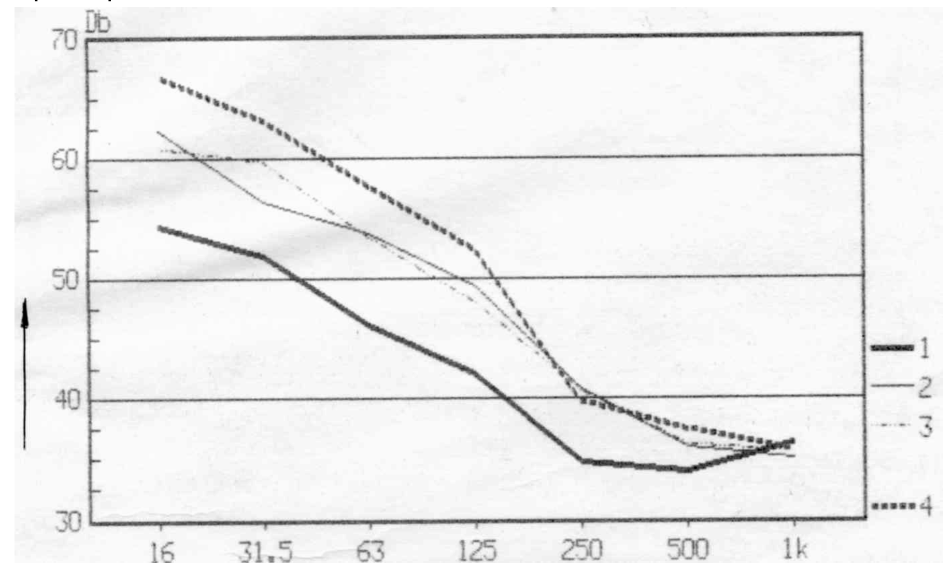


Рис. 6. Спектр виброускорений на сиденье оператора: 1 — виброизоляторы жёсткостью $1{,}8 \cdot 10^6$ Н/м; 2 — виброизоляторы жёсткостью $3{,}6 \cdot 10^6$ Н/м; 3 — виброизоляторы жёсткостью $5{,}1 \cdot 10^6$ Н/м; 4 — серийные виброизоляторы, четырёхточечная схема с задней реактивной штангой

Заключение. Влияние жёсткости виброизоляторов на локальную вибрацию рулевого колеса значительно. Установка опытных опор даёт возможность увеличить виброизоляцию и снизить уровни виброускорений на рулевом колесе. Применение более мягких опытных виброизоляторов дало возможность более чем на 10 дБ снизить виброускорения на рулевом колесе в сравнении с вариантом установки более жёстких серийных виброопор.

Материал поступил в редакцию 12.03.2012.

SPECIAL DAMPER FOR REDUCING VIBRATION OF FLOATING CRANE POWER PLANT

A. A. Korotkiy, V. E. Kasyanov*, E. V. Yegelskaya
(Don State Technical University, *Rostov State Transport University)

The damper design for the high-power plants is presented. (The efficiency effect in reducing the vibration levels in the operator's compartment at his worksite is shown.)
Keywords: *design, damper, vibrations, floating cranes.*

УДК 621.9.06:623.5

Расчёт несущей конструкции рамы секции ограждения для упрочнения труб лонжеронов

С. А. Шамшура, М. Е. Попов
(Донской государственный технический университет)

Приведена методика проверочного расчёта на устойчивость секций несущей части ограждения стенда виброударного упрочнения. В качестве расчётной схемы принята арочная конструкция.
Ключевые слова: *расчёт конструкции, рама ограждения.*

Введение. Значительные габариты системы шумозащиты и необходимость снижения металлоёмкости и расхода шумопоглощающих материалов, т. е. малой толщины стенок секций, привели к необходимости расчёта несущей конструкции на устойчивость. Методика и результаты расчётов приведены ниже.

Результаты расчёта. Расчёт выполнен по справочному пособию [1] для рамы, имеющей арочную геометрическую схему (парабола, рис. 1), определяемую формулой:

$$Y = \frac{4a}{l^2} \cdot X \cdot (l - X)$$

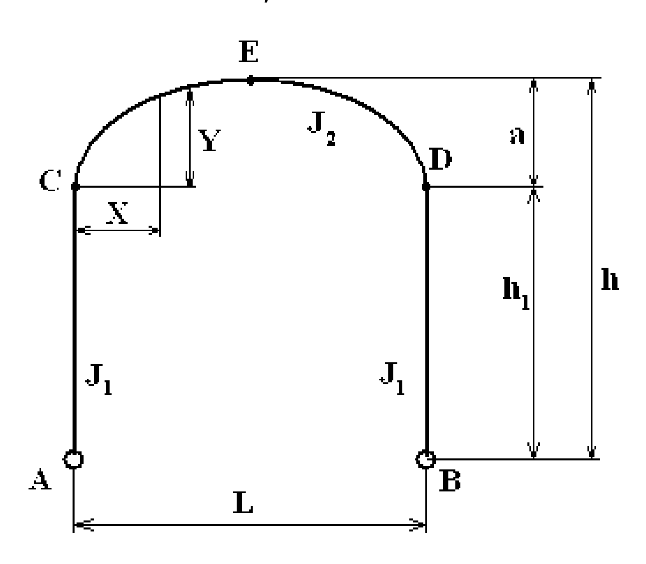


Рис. 1. Сечение рамы

Конструктивные размеры:

h = 2,55 м; h_1 = 1,06 м; a = 1,49 м; l = 5,06 м.

Момент инерции профиля сечения стоек и арки:

$J_1 = J_2$ = 111,99 см^4 —

профиль швеллер стальной гнутый равнополочий 100×60×3 ГОСТ 8278-83.

Вспомогательные коэффициенты:

$$R = \frac{J_2}{J_1} \cdot \frac{h_1}{L} = \frac{111,99}{111,99} \cdot \frac{1,06}{5,06} = 0,21;$$

$$F = R + 1 = 0,21 + 1 = 1,21;$$

$$G = 2R + 3 = 2 \cdot 0,21 + 3 = 3,42$$

$$N = 5h_1^2 G + 4a\left(5h_1 + 2a\right) = 5 \cdot 1,06^2 \cdot 3,42 + 4 \cdot 1,49\left(5 \cdot 1,06 + 2 \cdot 1,49\right) = 68,56$$

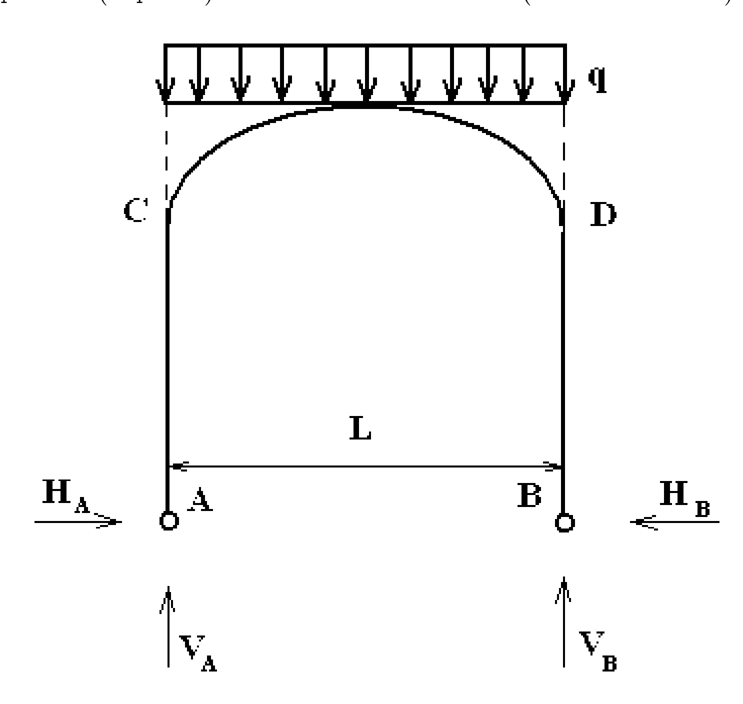


Рис. 2. Схема загрузки рамы

Погонная нагрузка от веса элементов, входящих в раму, на погонный метр:

1. $P_{швеллера} = \dfrac{4,93 \cdot 6,3}{5,06} = 6,1\ кг/п.м$

L = 6,3 м – общая длина швеллера арки.

2. $P_{прогонов} = \dfrac{2,23 \cdot 5\ шт}{5,06} = 2,2\ кг/п.м$

3. $P_{мин} = 3,75\ кг/п.м$

4. $P_{сетка} = 0,5\ кг/п.м$

5. $P_{обшивка} = 11,2\ кг/п.м$

6. $P_{крепёж} = 0,7\ кг/п.м$

$$q = K \cdot \left(P_{швел} + P_{прогон} + P_{мин.вата} + P_{сетка} + P_{обшивка} + P_{креп}\right) = 24,45\ кг/п.м = 0,0245\ т/п.м$$

где K = 1,1 — коэффициент перегрузки.

Грузовые коэффициенты определены по таблице «Силовых схем и грузовых коэффициентов» на стр. 252, поз. II.

$$\Delta_0 = q \cdot l^2 = 0,0245 \cdot 5,06^2 = 0,627$$

$$\Delta_1 = \frac{q \cdot l^2}{2} = \frac{0,627}{2} = 0,313$$

$$\Delta_2 = \frac{q \cdot l^2}{3} = \frac{0,627}{3} = 0,209$$

$$\Delta_3 = \frac{q \cdot l^2}{4} = \frac{0,627}{4} = 0,157$$

$$\Delta_4 = \frac{q \cdot l^2}{5} = \frac{0,627}{5} = 0,125$$

Узловой и опорные моменты и опорные реакции.

$$H_A = H_B = \frac{5}{2N}\left[(3h_1 + 2a) \cdot \Delta_1 - 3 \cdot h_1 \cdot \Delta_2 - 2a\left(2 \cdot \Delta_3 - \Delta_4\right)\right] =$$

$$= \frac{5}{2 \cdot 68,56}\left[(3 \cdot 1,06 + 2 \cdot 1,49) \cdot 0,313 - 3 \cdot 1,06 \cdot 0,209 - 2 \cdot 1,49 \cdot (2 \cdot 0,157 - 0,125)\right] = 0,013\ т = 13\ кг$$

$$V_B = \frac{\Delta_1}{l} = \frac{0,313}{5,06} = 0,062\ т = 62\ кг$$

$$V_A = \frac{\Delta_0}{l} - V_B = \frac{0,627}{5,06} - 0,062 = 0,062\ т = 62\ кг$$

Изгибающие моменты в узлах рамы C и D:

$$M_c = M_D = -h_1 \cdot H_A = -1,06_м \cdot 13_{кг} = -13,78\ кгм$$

$$M_E = M_E^0 + \frac{h}{h_1} M_c = 78,25 + \frac{2,55}{1,06} \cdot (-13,78) = 45,1\ кгм$$

где M_E^0 — момент простой балки CD в точке E.

$$M_E^0 = M_{\max} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{24,45 \cdot 5,06^2}{8} = 78,25\ кгм\ .$$

Общая вертикальная нагрузка на каток секции укрытия будет равна удвоенной опорной реакции, приходящейся от двух рам и веса боковых панелей (см. рис. 3):

$$V_K = 2 \cdot (N_A + q) = 2 \cdot (62 + 24,45) = 172,9\ кг\ .$$

Общая горизонтальная нагрузка на каток секции равна горизонтальной реакции от двух рам, опирающихся на один каток:

$$H_K = 2 \cdot H_A = 2 \cdot 13 = 26\ кг\ .$$

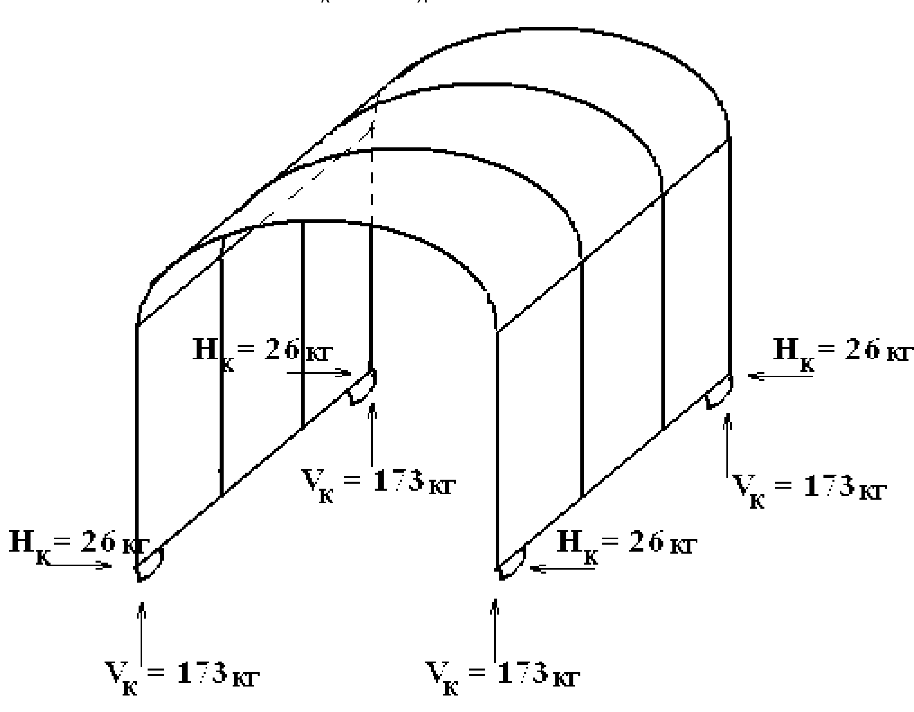


Рис. 3. Схема нагружения на катки рамы

Заключение. Стрела прогиба для свободно опёртой по концам балки, нагруженной сплошной равномерной нагрузкой q = 0,245 кг/см, составит:

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot J} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,245 \cdot 506^4}{2,1 \cdot 10^6 \cdot 111,99} = 0,88\ см\ ,$$

где $E = 2,1 \cdot 10^6$ кг/см^2 — модель продольной упругости для малоуглеродистой стали; J = = 111,99 см^4 — момент сечения профиля ригеля рамы; L = 506 см — длина ригеля рамы.

Таким образом, выполнено условие допустимой величины стрелы прогиба для таких габаритных размеров (f = 120 мм), что и подтверждает устойчивость предложенной конструкции ограждения.

Библиографический список

1. Глушков, Г. С. Формулы для расчёта неразрезных балок и рам / Г. С. Глушков, И. Р. Егоров, В. В. Ермолов; под ред. Г. С. Глушкова. — Москва: Госгортехиздат, 1960. — 343 с.

Материал поступил в редакцию 13.03.2012.

References

1. Glushkov, G. S. Formuly` dlya raschyota nerazrezny`x balok i ram / G. S. Glushkov, I. R. Egorov, V. V. Ermolov; pod red. G. S. Glushkova. — Moskva: Gosgortexizdat, 1960. — 343 s. — In Russian.

CALCULATION OF GUARD SECTION FRAME SUPPORT FOR LONGERON PIPE HARDENING

S. A. Shamshura, M. E. Popov
(Don State Technical University)

The checking stability calculation techniques for the guard support sections of the vibro-shock hardening stand is performed. The arched construction is accepted for the analytical model.
Keywords: *structural analysis, guard frame.*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Авакян Арине Арамаисовна, старший преподаватель филиала Московского государственного университета технологий и управления им. К. Г. Разумовского в г. Ростове-на-Дону.
arina.avakyan@mail.ru

Азаров Анатолий Дмитриевич, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий отделом сложных информационно-измерительных систем Научно-исследовательского института механики и прикладной математики им. И. И. Воровича Южного федерального университета.
polyani49@mail.ru

Бармута Каринэ Александровна, доктор экономических наук, профессор кафедры «Экономика и менеджмент» Донского государственного технического университета.
b_karina@mail.ru

Басина Наталья Ивановна, доктор философских наук, профессор, заведующая кафедрой «Социальная работа» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.
basinatalya.1@mail.ru

Богуславский Игорь Владимирович, доктор технических наук, профессор, проректор Донского государственного технического университета по научно-исследовательской работе и инновационной деятельности.
biv63@mail.ru

Бурлакова Виктория Эдуардовна, доктор технических наук, профессор кафедры «Химия» Донского государственного технического университета.
vburlakova@donstu.ru

Варуха Евгений Николаевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры «Машины и автоматизация сварочного производства» Донского государственного технического университета.
envarukha@yandex.ru

Гапонов Владимир Лаврентьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Производственная безопасность», директор института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.
gaponov@iem.donstu.ru

Герасименко Евгений Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация процессов и производств нефтегазового комплекса» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.
dec_neftgas@iem.donstu.ru

Герасименко Юрий Яковлевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация процессов и производств нефтегазового комплекса», декан факультета «Нефтегазопромышленный» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.
dec_neftgas@iem.donstu.ru

Драч Геннадий Владимирович, доктор философских наук, профессор, декан факультета «Философия и культурология» Южного федерального университета.

Дюргеров Никита Георгиевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология металлов» Ростовского государственного университета путей сообщения.

Егельская Елена Владимировна, аспирантка кафедры «Технологическое оборудование» Донского государственного технического университета.

Ермольев Юрий Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Сельскохозяйственные машины и оборудование» Донского государственного технического университета.

Журавлёв Лев Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология конструкционных материалов» Донского государственного технического университета.

Захарова Мария Сергеевна, студентка кафедры «Производственная безопасность» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.
zaharshuk@mail.ru

Иванов Сергей Иванович, старший преподаватель кафедры «Машины и автоматизация сварочного производства» филиала Донского государственного технического университета в г. Таганроге.
ivanov.sergey.ivanovich@mail.ru

Исаев Альберт Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Информационное обеспечение автоматизированного производства» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.
anis101@yandex.ru

Касьянов Валерий Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техническая эксплуатация и сервис автомобилей и оборудования» Ростовского государственного строительного университета.
tesao@rgsu.ru

Ковалёва Елена Аркадьевна, ассистент кафедры музыкального менеджмента Ростовской государственной консерватории им. С. В. Рахманинова.
alenex@mail.ru

Колесникова Галина Ивановна, доктор философских наук, профессор кафедры «Связи с общественностью» Донского государственного технического университета.
galina_ivanovna@kolesnikova.me

Коробцов Александр Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и автоматизация сварочного производства» Донского государственного технического университета.
dstu.koras@yandex.ru

Короткий Анатолий Аркадьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Транспортные системы и логистика» Донского государственного технического университета.
korot@novoch.ru

Кохановский Вадим Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология конструкционных материалов» Донского государственного технического университета.
coxanowskij@yandex.ru

Кочетов Андрей Николаевич, кандидат технических наук, доцент, декан факультета «Автоматизация, мехатроника и управление» Донского государственного технического университета.

Красноступ Станислав Маркович, кандидат технических наук, профессор кафедры «Технический сервис машин» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.
kr7273st@yandex.ru

Кузнецов Дмитрий Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры «Производственная безопасность» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.
kuznetsovdm@mail.ru

Курова Екатерина Геннадьевна, кандидат философских наук, доцент кафедры «Философия» Донского государственного технического университета.

Лебедев Алексей Романович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационное обеспечение автоматизированного производства» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.
alex-diplom@mail.ru

Лесняк Ольга Николаевна, старший преподаватель кафедры «Сопротивление материалов» Донского государственного технического университета.
olga1501@inbox.ru

Малеев Данил Николаевич, аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов» Донского государственного технического университета.
danil_maleev@mail.ru

Мидлер Елена Александровна, доктор экономических наук, доцент кафедры «Экономика» Донского государственного технического университета.
midler2005@yandex.ru

Минаков Валентин Степанович, доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов» Донского государственного технического университета.

Морозкин Игорь Сергеевич, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология металлов» Ростовского государственного университета путей сообщения.
mis_tm@mail.ru

Нейдорф Рудольф Анатольевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Донского государственного технического университета.
neyruan@yandex.ru

Николаева Людмила Сергеевна, доктор философских наук, профессор кафедры истории и философии Новочеркасской государственной мелиоративной академии.
atashechka@inbox.ru

Ованесян Наталья Матвеевна, доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой «Инженерная экономика и маркетинг» Донского государственного технического университета.
nat.ovanesyan@yandex.ru

Паршин Дмитрий Яковлевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизация и электропривод станочных систем» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.
d.parshin@mail.ru

Попов Михаил Егорович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» Донского государственного технического университета.
pme-dgtu@mail.ru

Радин Виктор Викторович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технический сервис машин» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.
ya.radin2011@yandex.ru

Рубанов Владилен Васильевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология конструкционных материалов» Донского государственного технического университета.
vruban@mail.ru

Рыжкин Анатолий Андреевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Инструментальное производство» Донского государственного технического университета.
a.ryzhkin_39@mail.ru

Сагиров Христофор Никитович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология металлов» Ростовского государственного университета путей сообщения.

Семенцова Лана Ибрагимовна, аспирантка кафедры истории и философии Новочеркасской государственной мелиоративной академии.
lanka-novochek@yandex.ru

Скакунова Татьяна Павловна, доцент кафедры «Автоматизация процессов и производств нефтегазового комплекса», заместитель декана факультета «Нефтегазопромышленный» Донского государственного технического университета.

Скринников Евгений Валерьевич, старший преподаватель кафедры «Автомобильный транспорт и организация дорожного движения» Южно-Российского государственного технического университета.
skrinnikov08@rambler.ru

Тетеревлёва Елена Владимировна, старший преподаватель Ухтинского государственного технического университета.
crom_r@rambler.ru

Финоченко Виктор Анатольевич, доктор технических наук, доцент, декан энергетического факультета Ростовского государственного университета путей сообщения.

Фролов Николай Георгиевич, студент кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Донского государственного технического университета.
ngfrolov@mail.ru

Хозяев Игорь Алексеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Машины и аппараты пищевых производств» Донского государственного технического университета.

Сведения об авторах

Черунова Екатерина Сергеевна, инженер Донского филиала Центра тренажеростроения в г. Новочеркасске.
eketi85@yandex.ru

Чистяков Андрей Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экономика и менеджмент» Донского государственного технического университета.
andrey.chist@gmail.com

Чукарин Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологическое оборудование» Донского государственного технического университета.
biv63@mail.ru

Шамшура Сергей Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Вертолётостроение» института управления и инноваций авиационной промышленности Донского государственного технического университета.
up_del@rgups.ru

Шевчук Денис Геннадьевич, аспирант кафедры «Автоматизация и электропривод станочных систем» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.
hebeh@yandex.ru

Шульга Геннадий Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобильный транспорт и организация дорожного движения» Южно-Российского государственного технического университета.
g.shulga41@mail.ru

Шульга Татьяна Геннадьевна, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Безопасность жизнедеятельности» Ростовского государственного университета путей сообщения.
t.shulga@mail.ru

INDEX

Avakyan, Arine A., senior lecturer, Moscow State University of Technologies and Management, Rostov-on-Don Branch.
arina.avakyan@mail.ru

Azarov, Anatoly D., Candidate of Science in Physics and Maths, associate professor, head of the Complex Information and Measuring Systems Department, Research Institute of Mechanics and Applied Mathematics, Southern Federal University.
polyani49@mail.ru

Barmuta, Karine A., PhD in Economics, professor of the Economics and Management Department, Don State Technical University.
b_karina@mail.ru

Basina, Natalya I., PhD in Philosophy, professor, head of the Social Work Department, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.
basinatalya.1@mail.ru

Boguslavskiy, Igor V., PhD in Science, professor, Vice-rector for Research and Innovations, Don State Technical University.
biv63@mail.ru

Burlakova, Victoria E., PhD in Science, professor of the Chemistry Department, Don State Technical University.
vburlakova@donstu.ru

Cherunova, Ekaterina S., engineer, Training Equipment Manufacture Centre, Don Branch, Novocherkassk.
eketi85@yandex.ru

Chistyakov, Andrey D., PhD in Science, professor, head of the Economics and Management Department, Don State Technical University.
andrey.chist@gmail.com

Chukarin, Alexander N., PhD in Science, professor, head of the Process Equipment Department, Don State Technical University.
biv63@mail.ru

Drach, Gennady V., PhD in Philosophy, professor, dean of the Philosophy and Cultural Studies Faculty, Southern Federal University.

Dyurgerov, Nikita G., PhD in Science, professor of the Metal Technology Department, Rostov State Transport University.

Finochenko, Viktor A., PhD in Science, associate professor, dean of the Power Engineering Faculty, Rostov State Transport University.

Frolov, Nikolay G., student of the Computer and Automated Systems Software Department, Don State Technical University.
ngfrolov@mail.ru

Gaponov, Vladimir L., PhD in Science, professor, head of the Industrial Safety Department, Director, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.
gaponov@iem.donstu.ru

Gerasimenko, Evgeny Y., Candidate of Science in Engineering, associate professor of the Process and Industrial Automation for Oil and Gas Complex Department, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.
dec_neftgas@iem.donstu.ru

Gerasimenko, Yury Y., PhD in Science, professor, head of the Process and Industrial Automation for Oil and Gas Complex Department, dean of the Oil and Gas Industry Faculty, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.
dec_neftgas@iem.donstu.ru

Isayev, Albert N., PhD in Science, professor of the CAM Dataware Department, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.
anis101@yandex.ru

Ivanov, Sergey I., senior lecturer of the Welding Engineering Technology and Machinery Department, Don State Technical University, Taganrog Branch.
ivanov.sergey.ivanovich@mail.ru

Kasyanov, Valery E., PhD in Science, professor, head of the Technical Operation and Servicing of Motorcars and Facilities Department, Rostov State Construction University.
tesao@rgsu.ru

Khozyayev, Igor A., PhD in Science, professor, head of the Food Production Machines and Mechanisms Department, Don State Technical University.

Kochetov, Andrey N., Candidate of Science in Engineering, associate professor, dean of the Automation, Mechatronics and Control Faculty, Don State Technical University.

Kokhanovskiy, Vadim A., PhD in Science, professor of the Construction Materials Engineering Department, Don State Technical University.
coxanowskij@yandex.ru

Kolesnikova, Galina I., PhD in Philosophy, professor of the Public Relations Department, Don State Technical University.
galina_ivanovna@kolesnikova.me

Korobtsov, Alexander S., PhD in Science, professor of the Welding Fabrication Machines and Automation Department, Don State Technical University.
dstu.koras@yandex.ru

Korotkiy, Anatoly A., PhD in Science, professor, head of the Transportation Systems and Logistics Department, Don State Technical University.
korot@novoch.ru

Kovaleva, Elena A., teaching assistant of the Musical Management Department, Rostov State Rakhmaninov Conservatoire.
alenex@mail.ru

Krasnostup, Stanislav M., Candidate of Science in Engineering, professor of the Technical Service of Machines Department, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.
kr7273st@yandex.ru

Kurova, Ekaterina G., Candidate of Science in Philosophy, associate professor of the Philosophy Department, Don State Technical University.

Kuznetsov, Dmitry M., PhD in Science, professor of the Industrial Safety Department, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.
kuznetsovdm@mail.ru

Lebedev, Aleksey R., Candidate of Science in Engineering, associate professor of the CAM Dataware Department, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.
alex-diplom@mail.ru

Lesnyak, Olga N., senior lecturer of the Strength of Materials Department, Don State Technical University.
olga1501@inbox.ru

Maleyev, Danil N., postgraduate student of the Production Automation Department, Don State Technical University.
danil_maleev@mail.ru

Midler, Elena A., PhD in Economics, associate professor of the Economics Department, Don State Technical University.
midler2005@yandex.ru

Minakov, Valentin S., PhD in Science, professor of the Production Automation Department, Don State Technical University.

Morozkin, Igor S., PhD in Science, associate professor, head of the Metal Technology Department, Rostov State Transport University.
mis_tm@mail.ru

Neydorf, Rudolf A., PhD in Science, professor, head of the Computer and Automated Systems Software Department, Don State Technical University.
neyruan@yandex.ru

Nikolayeva, Lyudmila S., PhD in Philosophy, professor of the History and Philosophy Department, Novocherkassk State Reclamation Academy.
atashechka@inbox.ru

Ovanesyan, Natalya M., PhD in Economics, professor, head of the Engineering Economics and Marketing Department, Don State Technical University.
nat.ovanesyan@yandex.ru

Parshin, Dmitry Y., PhD in Science, professor of the Automation and Electrical Drive of Machine Systems Department, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.
d.parshin@mail.ru

Popov, Mikhail E., PhD in Science, professor of the Engineering Technology Department, Don State Technical University.
pme-dgtu@mail.ru

Radin, Viktor V., PhD in Science, professor of the Technical Service of Machines Department, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.
ya.radin2011@yandex.ru

Rubanov, Vladilen V., PhD in Science, professor of the Construction Materials Engineering Department, Don State Technical University.
vruban@mail.ru

Ryzhkin, Anatoly A., PhD in Science, professor, head of the Tools Production Department, Don State Technical University.
a.ryzhkin_39@mail.ru

Sagirov, Khristofor N., PhD in Science, professor of the Metal Technology Department, Rostov State Transport University.

Sementsova, Lana I., postgraduate student of the History and Philosophy Department, Novocherkassk State Reclamation Academy.
lanka-novochek@yandex.ru

Shamshura, Sergey A., Candidate of Science in Engineering, associate professor of the Helicopter Engineering Department, Management and Innovations Institute of Aircraft Industry, Don State Technical University.
up_del@rgups.ru

Shevchuk, Denis G., postgraduate student of the Automation and Electrical Drive of Machine Systems Department, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.
hebeh@yandex.ru

Shulga, Gennady I., PhD in Science, professor of the Automobile Transport and Traffic Management Department, South-Russian State Technical University.
g.shulga41@mail.ru

Shulga, Tatyana G., Candidate of Science in Engineering, senior lecturer of the Life Protection Sciences Department, Rostov State Transport University.
t.shulga@mail.ru

Skakunova, Tatyana P., associate professor of the Process and Industrial Automation for Oil and Gas Complex Department, associate dean of the Oil and Gas Industry Faculty, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.
dec_neftgas@iem.donstu.ru

Skrinnikov, Evgeny V., senior lecturer of the Automobile Transport and Traffic Management Department, South-Russian State Technical University.
skrinnikov08@rambler.ru

Teterevleva, Elena V., senior lecturer, Ukhta State Technical University.
crom_r@rambler.ru

Varukha, Evgeny N., PhD in Science, senior research scholar, professor of the Welding Fabrication Machines and Automation Department, Don State Technical University.
envarukha@yandex.ru

Yegelskaya, Elena V., postgraduate student of the Process Equipment Department, Don State Technical University.

Yermolyev, Yury I., PhD in Science, professor, head of the Agricultural Machinery and Equipment Department, Don State Technical University.

Zakharova, Maria S., student of the Industrial Safety Department, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.
zaharshuk@mail.ru

Zhuravlev, Lev A., PhD in Science, professor of the Construction Materials Engineering Department, Don State Technical University.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

1. Электронный и распечатанный варианты статьи можно представить непосредственно в редакцию журнала. Можно зарегистрировать себя на сайте журнала (http://vestnik.donstu.ru) как автора (если ещё не зарегистрированы) и затем зарегистрировать публикацию. Зарегистрированные на сайте журнала авторы получают возможность загружать статьи в базу данных журнала самостоятельно и в дальнейшем отслеживать состояние своих публикаций. Файл с текстом статьи должен иметь формат DOC. Разметка страницы: поля со всех сторон 2 см, ориентация книжная, формат А4. Текст набирается шрифтом Times New Roman, размер (кегль) 14, абзацный отступ 1,25 см, межстрочный интервал 1,5 строки с использованием автоматической расстановки переносов.

2. В начале статьи в левом верхнем углу ставится индекс УДК. Далее на первой странице сведения идут в такой последовательности: полное название статьи; инициалы и фамилии авторов, место работы; аннотация (≤ 400 символов, включая пробелы); ключевые слова (≤ 150 символов). Затем идёт текст самой статьи, библиографический список, сведения об авторах (Ф. И. О., научная степень, звание, должность и место работы, e-mail).

3. Дополнительно к статье должны быть представлены следующие материалы на английском языке: полное название статьи, Ф. И. О. авторов, аннотация, ключевые слова, сведения об авторах.

4. Статья должна предусматривать разделы: введение (постановка задачи), основную часть (подзаголовки), выводы или заключение.

5. Объём статьи не должен превышать 16 страниц текста, 5 рисунков или фотографий; обзора — 25 страниц, 10 рисунков; краткого сообщения — 3 страниц, 2 рисунков.

6. Иллюстрации (рисунки, графики) должны быть расположены в тексте статьи и выполнены в одном из графических редакторов (формат TIF, PCC, JPG, PCD, MSP, DIB, CDR, CGM, EPS, WMF). Каждый рисунок должен иметь подпись. Рисунки должны иметь контрастное изображение. Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь заголовок. Формулы и буквенные обозначения величин должны быть набраны в редакторе формул Microsoft Equation или MathType.

7. Размерность физических величин, используемых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц (СИ). Не следует употреблять сокращённых слов, кроме общепринятых (*т. е.*, *и т. д.*, *и т. п.*). Буквы латинского алфавита, обозначающие физические величины, набирают курсивом; буквы греческого алфавита и готического (немецкого) — в прямом начертании.

8. Библиографический список должен включать: фамилию и инициалы автора, название статьи, название журнала, том, год, номер или выпуск, страницы, а для книг — фамилию и инициалы автора, название книги, место издания (город), издательство, год издания, количество страниц.

9. Редколлегия оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

10. Статьи, не отвечающие правилам оформления, к рассмотрению не принимаются, рукописи и электронные носители авторам не возвращаются. Датой поступления считается день получения редколлегией окончательного текста статьи.

11. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Более подробно с правилами оформления следует ознакомиться на сайте журнала «Вестник ДГТУ» по адресу: http://vestnik.donstu.ru.